

جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 1

Introduction to Cell Biology

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

March 2023

The Cell الخليّة

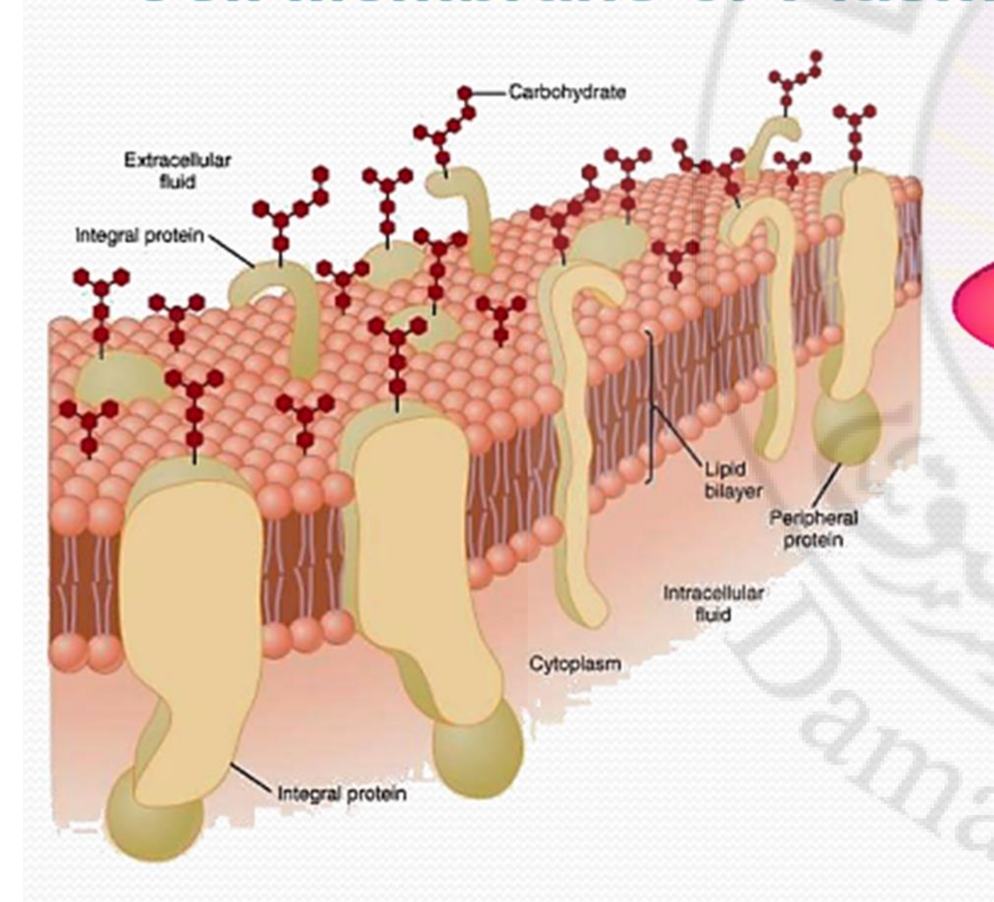
- الخلية هي الوحدة الأساسية للجسم حيث تتألف الأجسام من أعضاء تحوي أسنجة تتكون من تجمعات من الخلايا التي تتماسك مع بعضها بدرجات وطرق مختلفة حسب الشكل والوظيفة المنوطة بها.
- رغم اختلافها الشديد تشترك الخلايا البشرية بصفات أساسية أهمها التركيب العام للخلايا جميعا من غشاء خلوي ونواة وسيتوبلاسما وعضيات أساسية وظيفية كما أنها تستخدم الأكسجين للحصول على الطاقة حيث يتحد مع البروتينات والسكريات والدسم كما تتشابه في آليات استقلاب الغذيات داخلها وطرق طرح الفضلات إلى خارج الغشاء الخلوي.
- تتمكن معظم الخايا البشرية من التكاثر وتعويض التالف منها في حين تفتقد الخلايا العصبية والخايا الحسية كالخلايا المشعرة الداخلية والخارجية في الأذن هذه الخاصية مما يجعل تالفا انتهائيا غير قابل للرجوع أو التعويض.

تنظيم الخليّة

- تعتبر النواة والسيتوبلاسما المكونين الأساسيين في الخلية، وتسمى العضيات المكونة للخلية بالبروتوبلاسما وهي تتألف من الماء والكهارل والبروتينات والسكريات والدهون.
- يشكل الماء 70-85% من حجم الخلية وتذاب فيه معظم المواد في الخلية وله دور أساسي في التفاعلات الكيمائية داخلها وفي النقل الخلوي.
- أهم الكهارل داخل الخلوية هو البوتاسيوم والمغنزيوم والبيكربونات والفوسفور والسلفات والقليل القليل من الصوديوم والكلور الذي يسيطر خارج الخلية ويعتبر هذا التوزع أساس الاستقطاب الخلوي وحفظ حجم ووظيفة الخلية.
- تشكل البروتينات 10-20% من مكونات الخلايا وهي إما بنيوية تشكل عضيات هامة لوظيفة الخلية وبنيتها وإما كريوية تشكل الانزيمات والنواقل والمواد الفعالة الخلوية.
- أما الشحوم بأنواعها فتعتبر أساس تشميل الحواجز الخلوية وتدخل في بنية الغشاء الخلوي وتعتبر أساسي في آليات التحكم والنقل الخلوي ومولدات للطاقة.
- لاتخزن السكريات بوفرة داخل الخلايا وتدخل في تركيب البروتينات السكرية ولها دور مهم في تغذية الخلية.

غشاء الخلية

Cell Membrane or Plasma Membrane



Peripheral or extrinsic proteins

Integral or intrinsic proteins

7.5 to 10 nm thick

Proteins: 55%

Phospholipids: 25%

Cholesterol: 13%

Other lipids: 4%

Carbohydrate: 3%

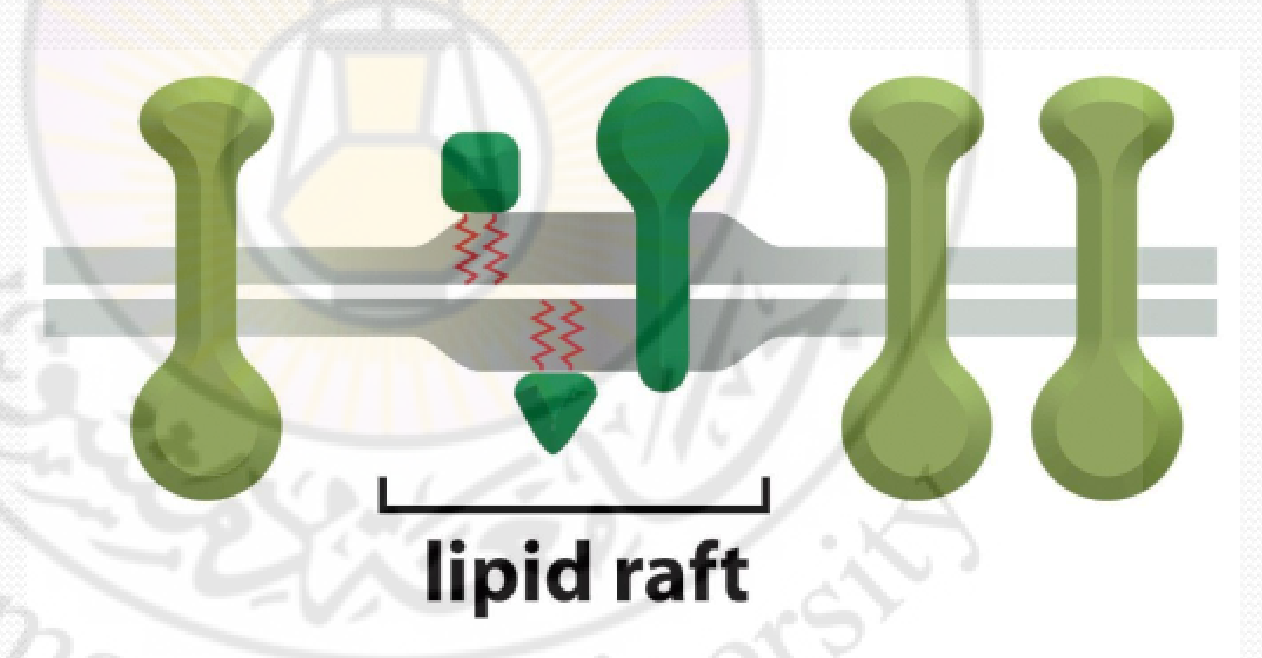
- هو غشاء رقيق يحوط الخلية تماما ويتركب من طبقات من الدهون والبروتيانت بشكل أساسي حيث يمنع الحاجز الشحمي الخلية من خسارة الماء. كما يشكل هذا الغشاء مدوج الشحمية حاجزا امام عبور الجزيئات المنحلة بالماء كالشوارد والغلوكوز واليوريا والتي تحتاج طرق نقل مختلفة من وإلى الخلية في حين تعتبر المواد المنحلة بالشحوم بسهولة عبره كالكحول والاكسجين.

Cell membranes are crucial to the life of the cell

- Cells of all kinds share certain structural features. The plasma membrane defines the periphery of the cell, separating its contents from the surroundings.
- It is composed of lipid and protein molecules that form a thin, tough, pliable, hydrophobic barrier around the cell.
- Proteins that span the lipid bilayer are called Integral or intrinsic proteins.
- Phosphoglycerides, Sphingolipids, and Sterols are the major lipids in cell membranes.

Lipid raft:

- Small, **specialized areas** in membranes where some lipids (**sphingolipids** & **cholesterol**) and proteins are concentrated.



Localization and proteomic characterization of cholesterol-rich membrane microdomains in the inner ear



- Thomas PV[1], et al., **J Proteomics. 2014 May** 30;103:178-93.
- Biological membranes organize and compartmentalize cell signaling into discrete **microdomains**, a process that often involves stable, cholesterol-rich platforms that facilitate protein-protein interactions. **Polarized cells** with distinct apical and basolateral cell processes rely on such compartmentalization to maintain proper function.
- In the cochlea, a variety of highly polarized sensory and non-sensory cells are responsible for the early stages of sound processing in the ear, yet little is known about the mechanisms that traffic and organize signaling complexes within these cells. We sought to determine the prevalence, localization, and protein composition of **cholesterol-rich lipid microdomains in the cochlea**.
- **Lipid raft components, including the scaffolding protein caveolin and the ganglioside GM1, were found in sensory, neural, and glial cells.** Among the DRM constituents were several proteins involved in human forms of **deafness including those involved in ion homeostasis, such as the potassium channel KCNQ1, the co-transporter SLC12A2, and gap junction proteins GJA1 and GJB6**. The presence **of caveolin in the cochlea** and the abundance of proteins in cholesterol-rich DRM suggest that **lipid microdomains play a significant role in cochlear physiology.**

Proteins of Cell Membrane



Peripheral protein

Integral proteins

Extracellular space

Peripheral proteins are noncovalently bonded with integral proteins.

Most integral membrane proteins have membrane-spanning α-helical domains of about 20 amino acids.

Some have multiple membrane-spanning domains.

Some proteins are linked to membrane phospholipids via an oligosaccharide…

A

B

C

D

E

Integral protein

F

…or are linked directly to fatty acids or prenyl groups.

Cytosol



protein A

tight junction

apical plasma membrane

protein B

lateral plasma membrane

basal plasma membrane

basal lamina

ATP



triphosphate ribose adenine

adenosine

(A)

(B)

Purinergic World

neighboring cells

[*purino-converting enzymes*]

paracrine signalling

[*purinergic receptors*]

ENA EAK ENDK

P2 YR

P2 XR

ATP

ATP adenosine AMP ADP

lysis

channel

Transporter

exocytosis

ATP

[*purinergic signal efflux pathways*]

ATP

[*purinergic receptors*]

autocrine signalling

signalling cell

ATP

mitochondrial oxidative phosphorylation

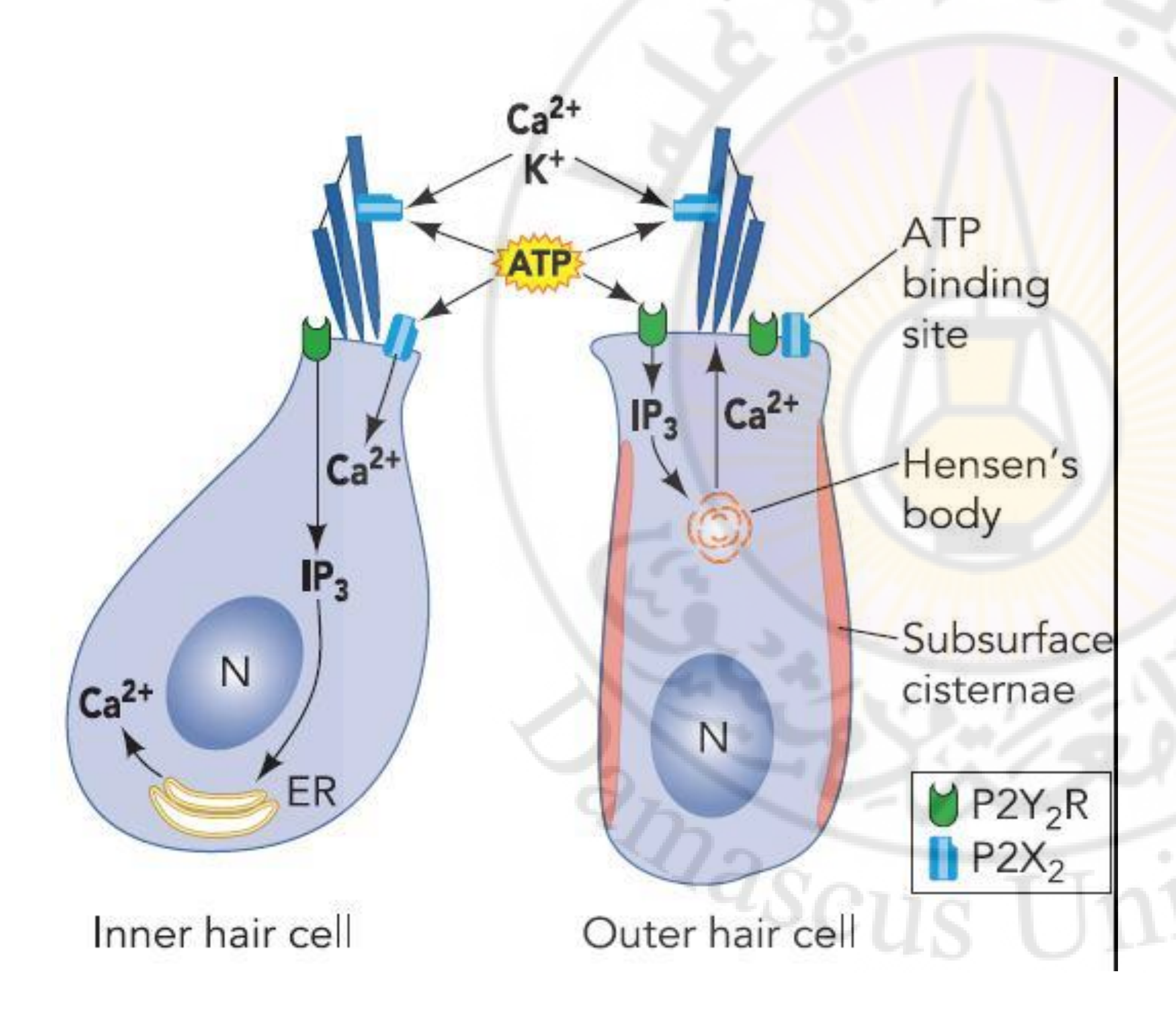
cytosolic glycolysis

[*purine-generating reactions*]

cell



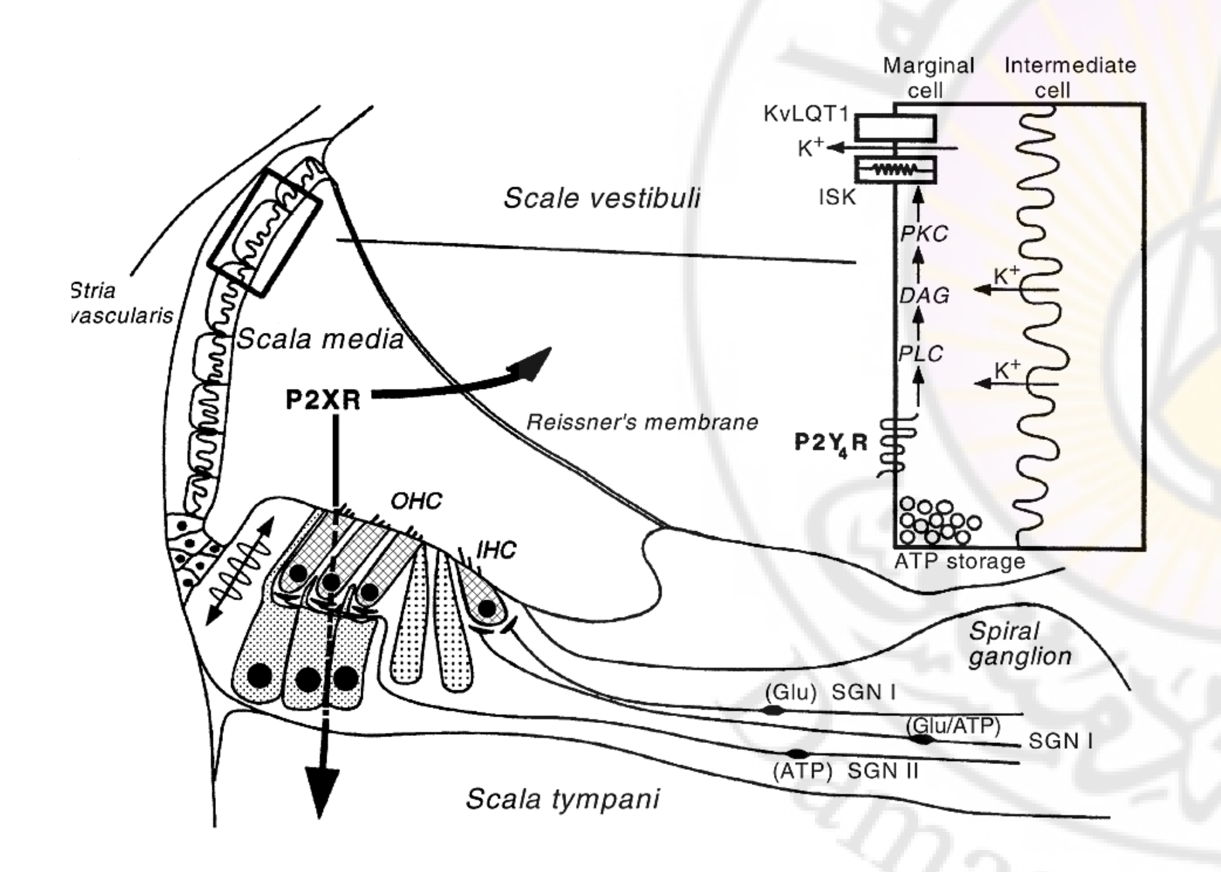
P2R expression in hair cells



Mitochondrial Hearing Loss

تتوضع المستقبلات البورينرجية في مواضع مختلفة من الخلايا المشعرة كالأهداب stereocilia وعند قمة الخلية وتلعب دور حاسما في تشكيل الرسالة الخلوية وفي حال تعرضها لطفرات وراثية قد تتسبب بنقص سمع غير قابل للتراجع.

دور المستقبلات البورينرجية المدعومة بال ATP في وظيفة الحلزون

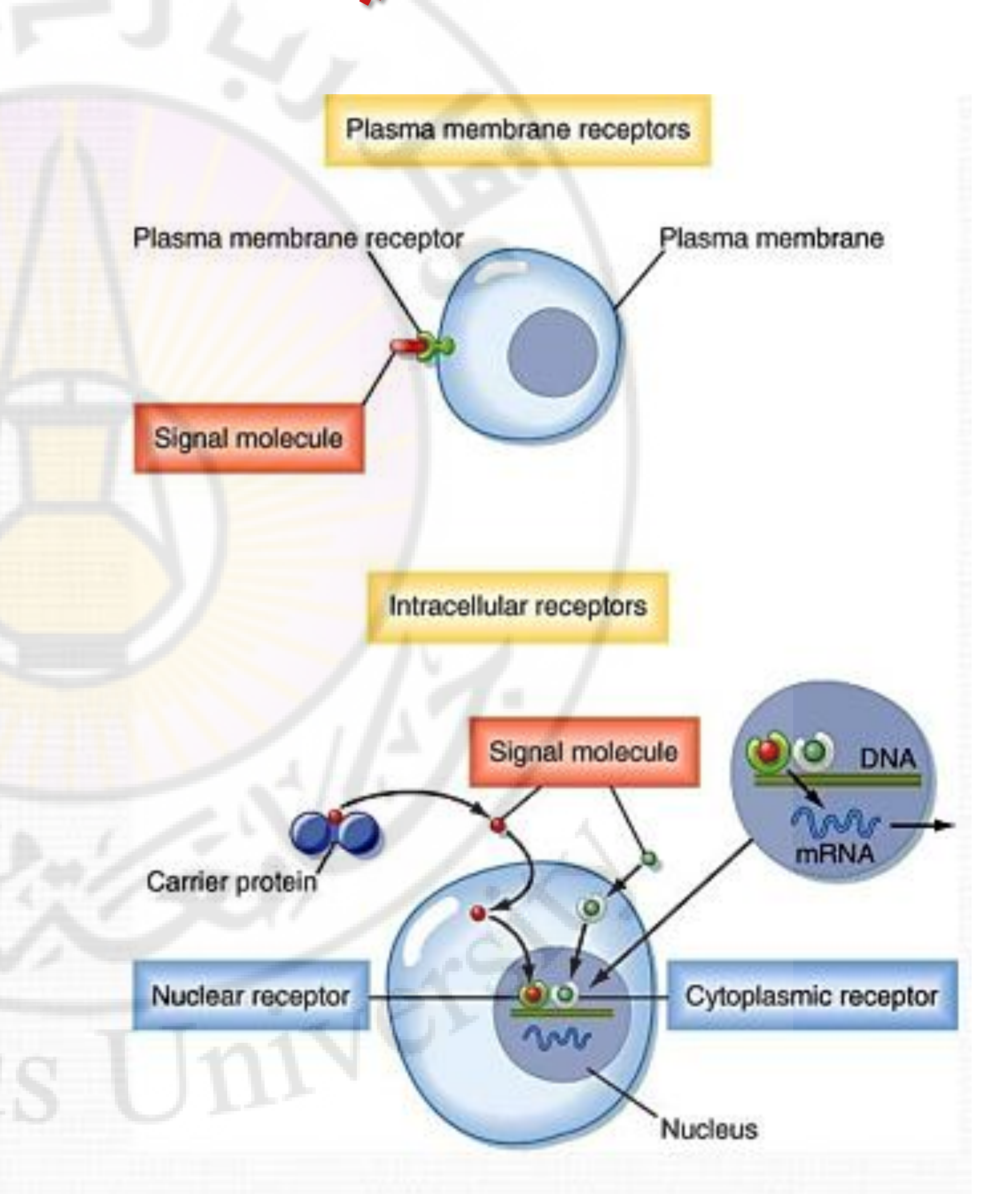


- تساهم المستقبلات الموجودة على الأهداب بإزالة استقطاب الخلايا المشعرة الحلزونية حيث أنها تساهم في تبديل القساوة الميكانيكية للأهداب.
- كما أن لهذه المستقبلات دور هام في انتقال المواد الفعالة وتشكيل الكمون داخل الحلزوني EP والذي يعتبر أهم عنصر وظيفي في حيوية ووظيفة الحلزون حيث أن وجود المستقبلات على الجدران الجانبية للخلايا الحلزونية داخل عضو كورتي يشكل العامل الأهم في دورة البوتاسيوم وتشكيل الكمون داخل الحلزوني EP. (سنتحدث عنه لاحقا)
- كما أن للمستقبلات البورنيرجية دور هام في دعم دور الخلايا الداعمة Supporting cells في عضو كورتي.

Cell to Cell Communication التواصل الخلوي

- Cells communicate by releasing **extracellular signaling molecules**:
  - **Hormones**
  - **Neurotransmitters**

- that bind to **receptor proteins** located in the:
  - Plasma membrane
  - Cytoplasm
  - Nucleus



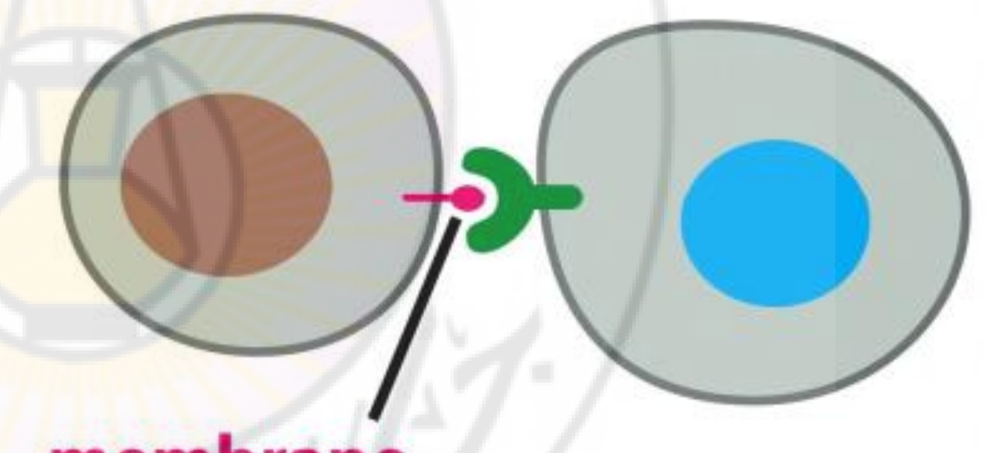
طرق ترميز الإشارة Signaling Algorithm

- يتم تحرير المواد الناقلة (الرسل) Signaling Molecules بطرق مختلفة أهمها:
  1. الترميز الداخلي (الصماوي) Endocrine Signaling.
  2. الترميز المشبكي Synaptic Signaling.
  3. الترميز الذاتي Autocrine Signaling.
  4. الترميز المجاور Paracrine Signaling.
  5. الترميز بالتلامس Contact Signaling.
- ترتبط الرسل بالبروتينات الخلوية في مواضع مختلفة مسببة نقل الاشارة أو مايسمى بالترميز حيث تتوضع هذه البروتينات المستقبلة في مواع مختلفة كالغشاء الخلوي والبلاسما والنواة.

- Plasma membrane
  - Ion channel-linked receptors
  - G protein-coupled receptors
  - Catalytic receptors
    - Receptor guanylyl cyclases
    - Receptor threonine/serine kinases
    - Receptor tyrosine kinases,
    - Tyrosine kinase-associated receptors,
  - Transmembrane receptors

Contact Dependent

- Such contact-dependent signaling is especially important during **development** and in **immune responses.**
- Contact-dependent signaling during development can sometimes operate over relatively large distances, where the communicating cells extend long processes to make contact with one another.

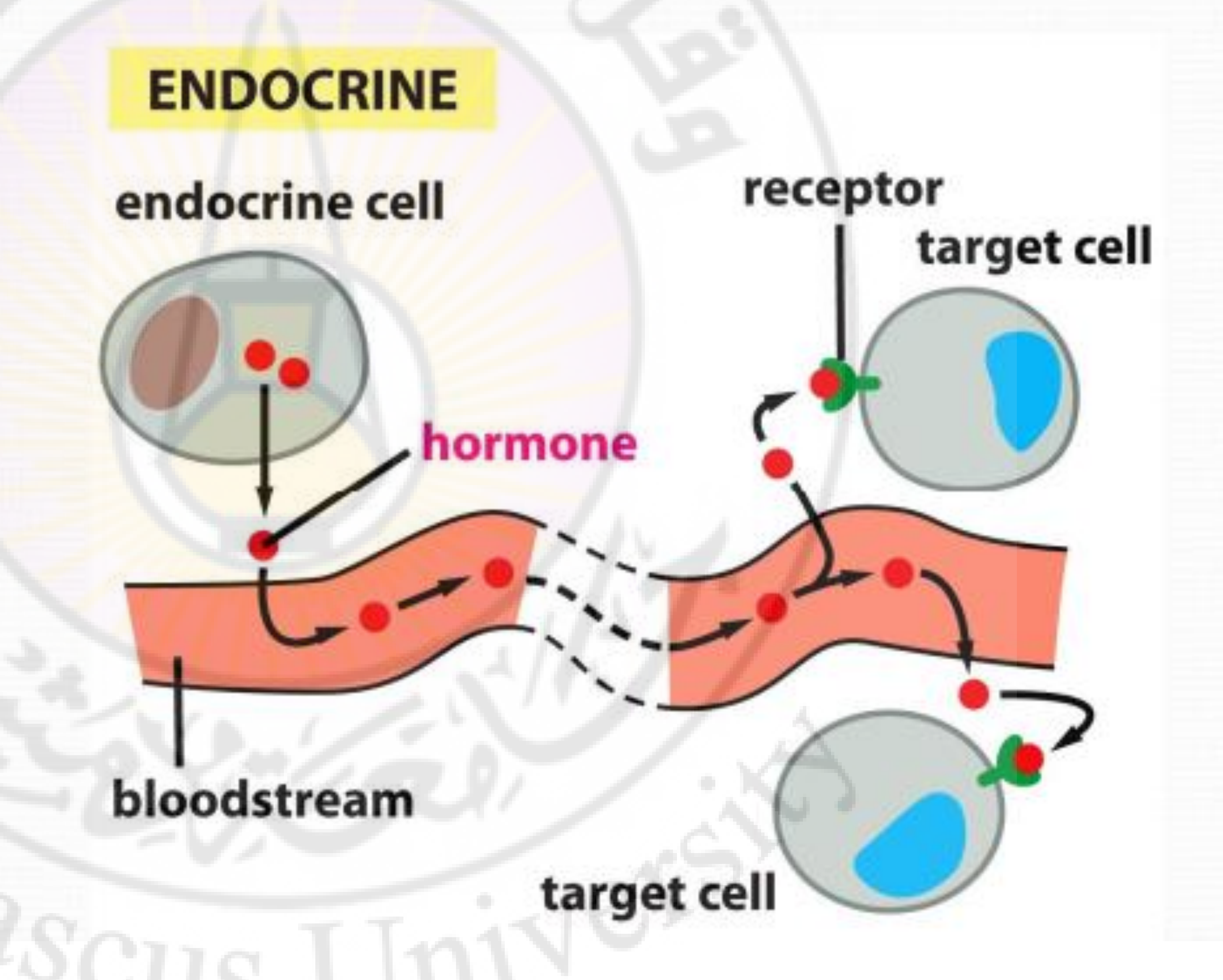






Endocrine Signaling

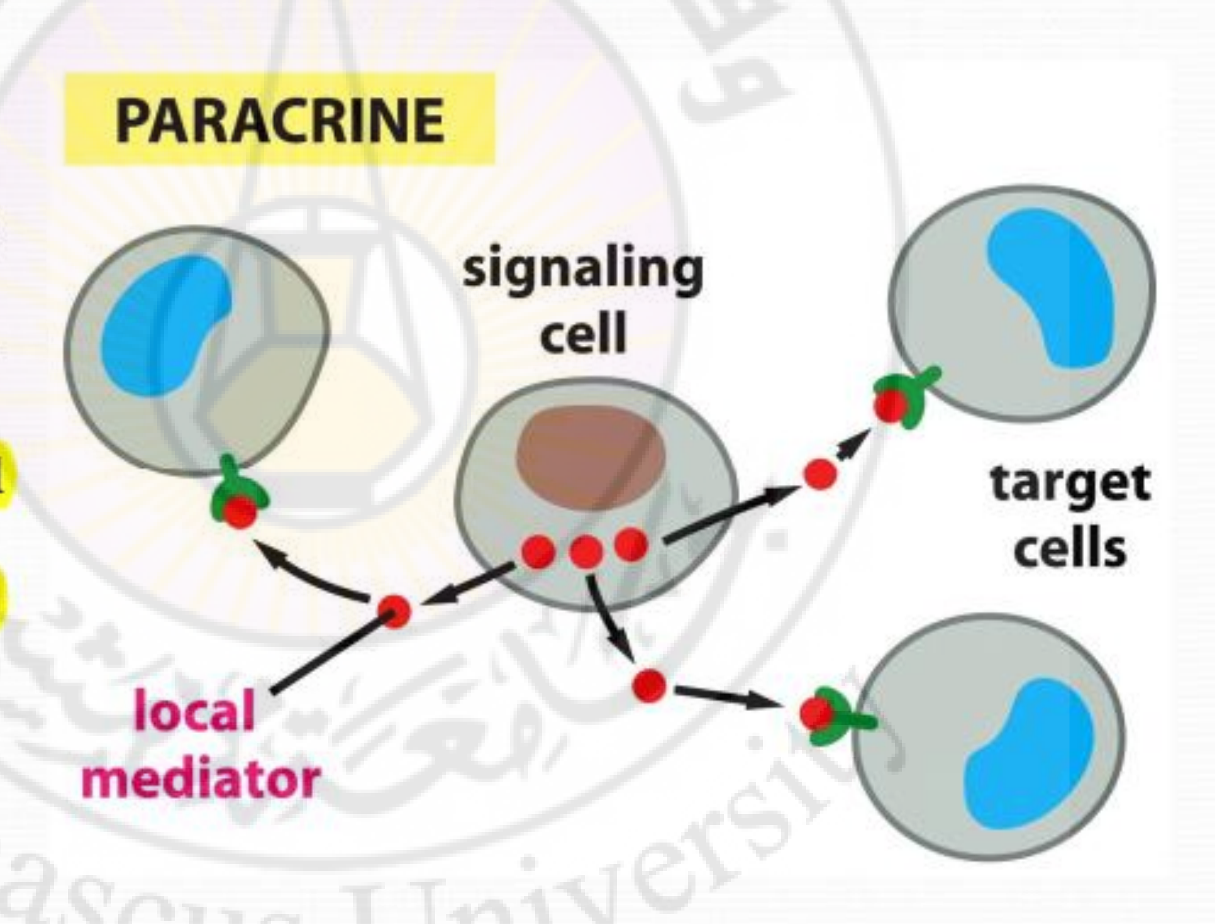
- **Endocrine cells, secrete their signal molecules, called hormones, into the** bloodstream, which carries the molecules far and wide, allowing them to act on target cells that may lie anywhere in the body.





Paracrine Signaling

- In most cases, signaling cells secrete signal molecules into the extracellular fluid.
- The secreted molecules may be carried far afield to act on distant target cells, or they may act as **local mediators, affecting only cells in the** local environment of the signaling cell. The latter process is called **paracrine signaling**

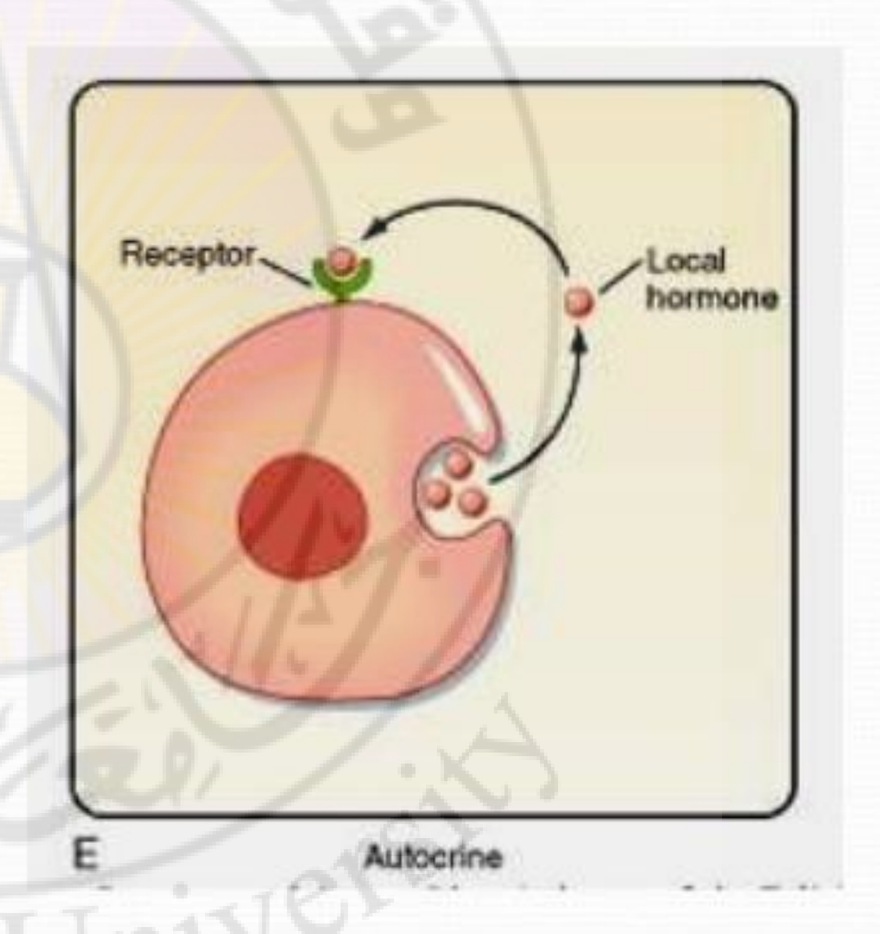




Autocrine Signaling

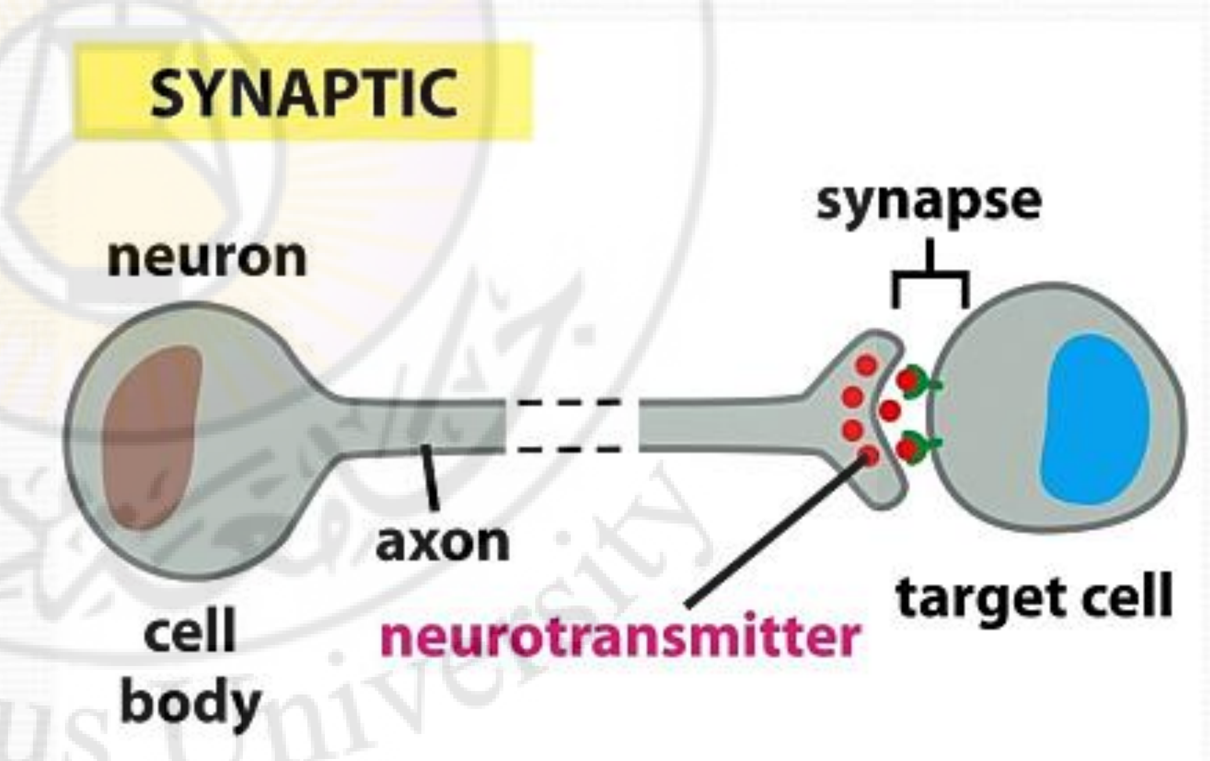
- The signaling and target cells in paracrine signaling are of different cell types, but cells may also produce signals that they themselves respond to: **this is referred to as autocrine signaling.**

- **Cancer cells**, for example, often use this strategy to stimulate their own survival and proliferation.



Synaptic Signaling

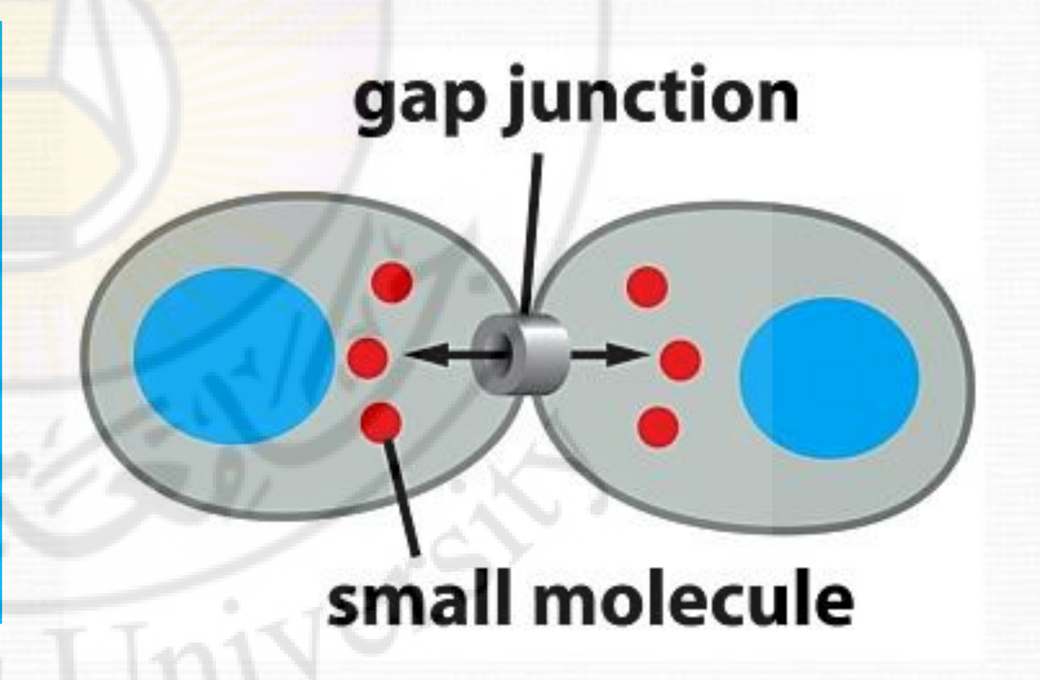
- Synaptic signaling is performed by **neurons** that transmit signals electrically along their axons and release **neurotransmitters** at synapses, which are often located far away from the neuronal cell body.



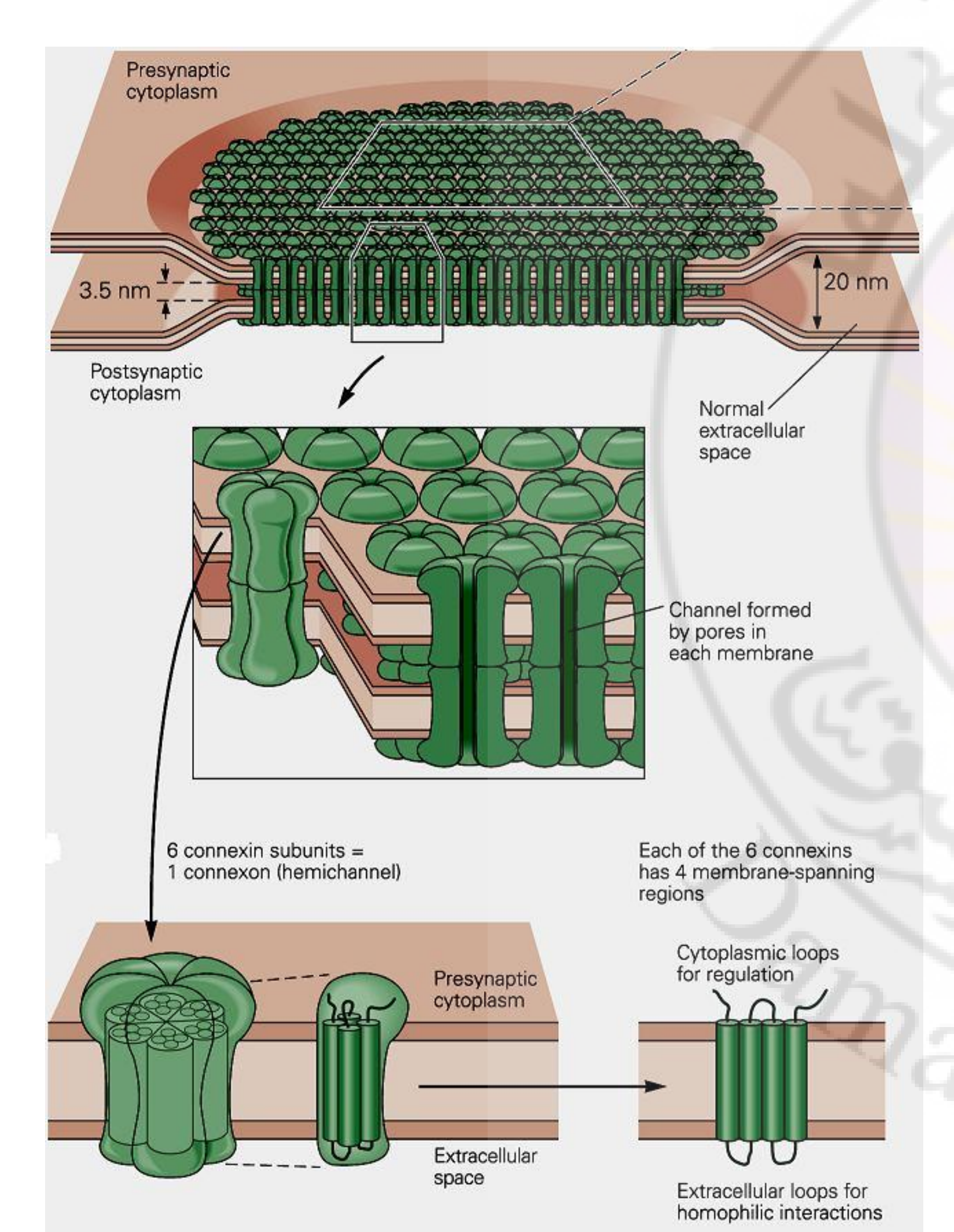
Gap Junction الاتصالات الفجوية

Gap Junctions Allow Neighboring Cells to Share Signaling Information

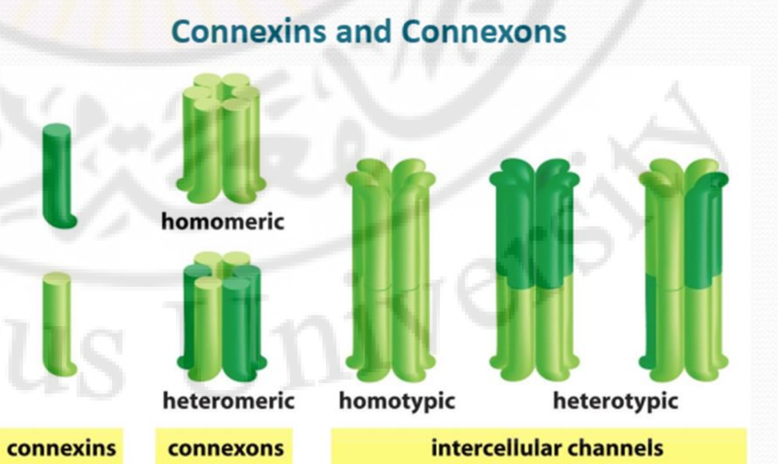
تساعد الاتصالات الفجوية الخايا المتجاورة على نقل المعلومات فيما بينها بما يناسب حجم الفجوات كالكالسيوم وال CAMP مما يمكن هذه الخلايا أن تستجيب للمنبه الخارجي بطريقة متناسقة الأمر الذي يلعب دورا هاما في أداء وظيفتها بشكل متزامن ومتناسق وسريع جدا كنقل الإشارة السمعية



الاتصالات الفجوية

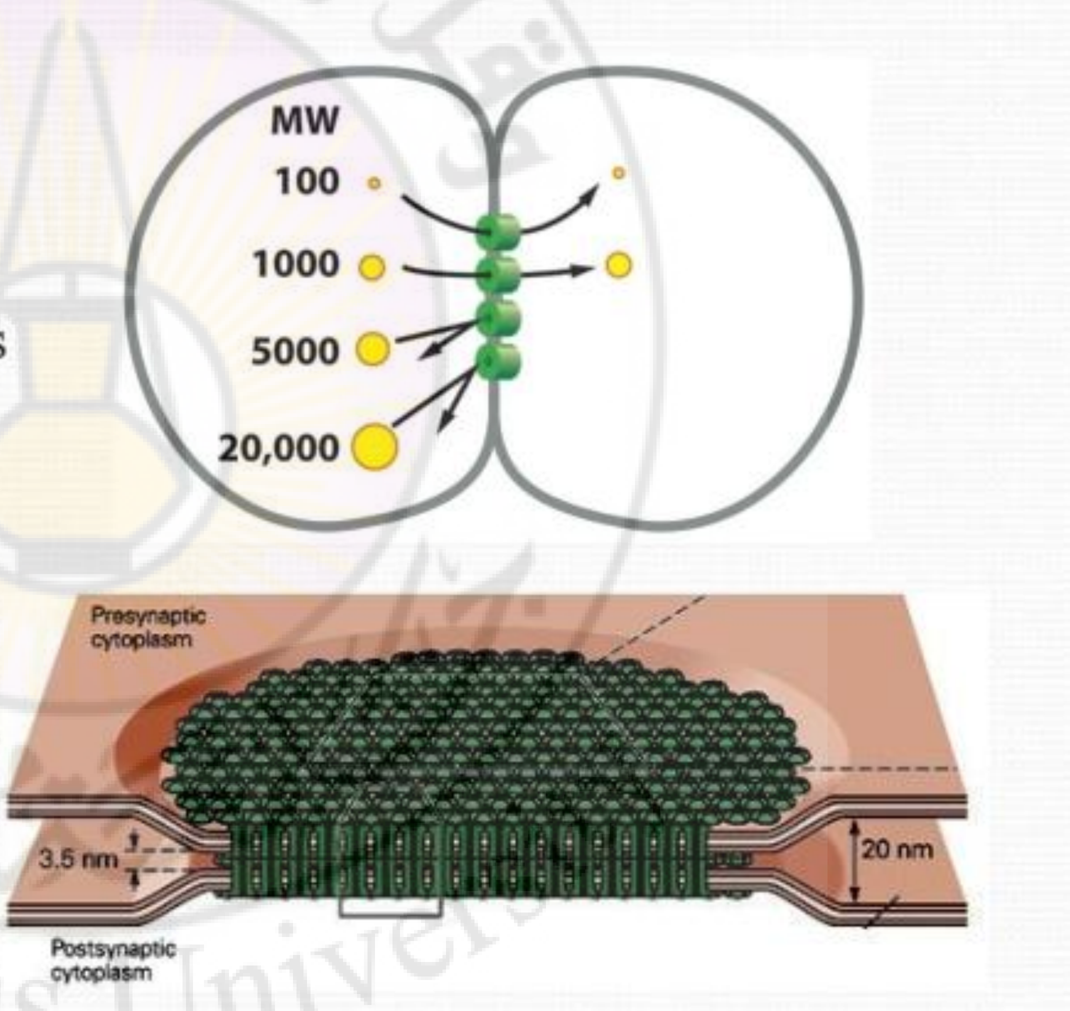


- وهي قنوات تتألف من زوج من أنصاف القناة كل منها على الوجه المقابل للخلية المجاورة والتي تسمح باتصال كل من سيتوبلاسما الخليتين.
- كل نصف قناة تسمى كونكسون Connexon تتألف من ست تحت وحدات متطابقة تسمى بالكونكسين Connexin.
- تتحد الكونكسينات مع بعضها مشكلة قناة ذات قطر معين لايتجاوز ال2 نانومتر ويسمح لحجوم معينة من النواقل ان تعبر من خلالها.
- مثال على النقل بالاتصالات الفجوية في الحلزون هو انتقال ال ATP عند تفعيل الخلايا المشعرة حيث ينتشر عبر الانتقالات الفجوية بين الخلايا الداعمة االمجاورة للخلية المشعرة مسببا انتقال الاشارة بالسرعة اللازمة خلال زمن قصير جدا.

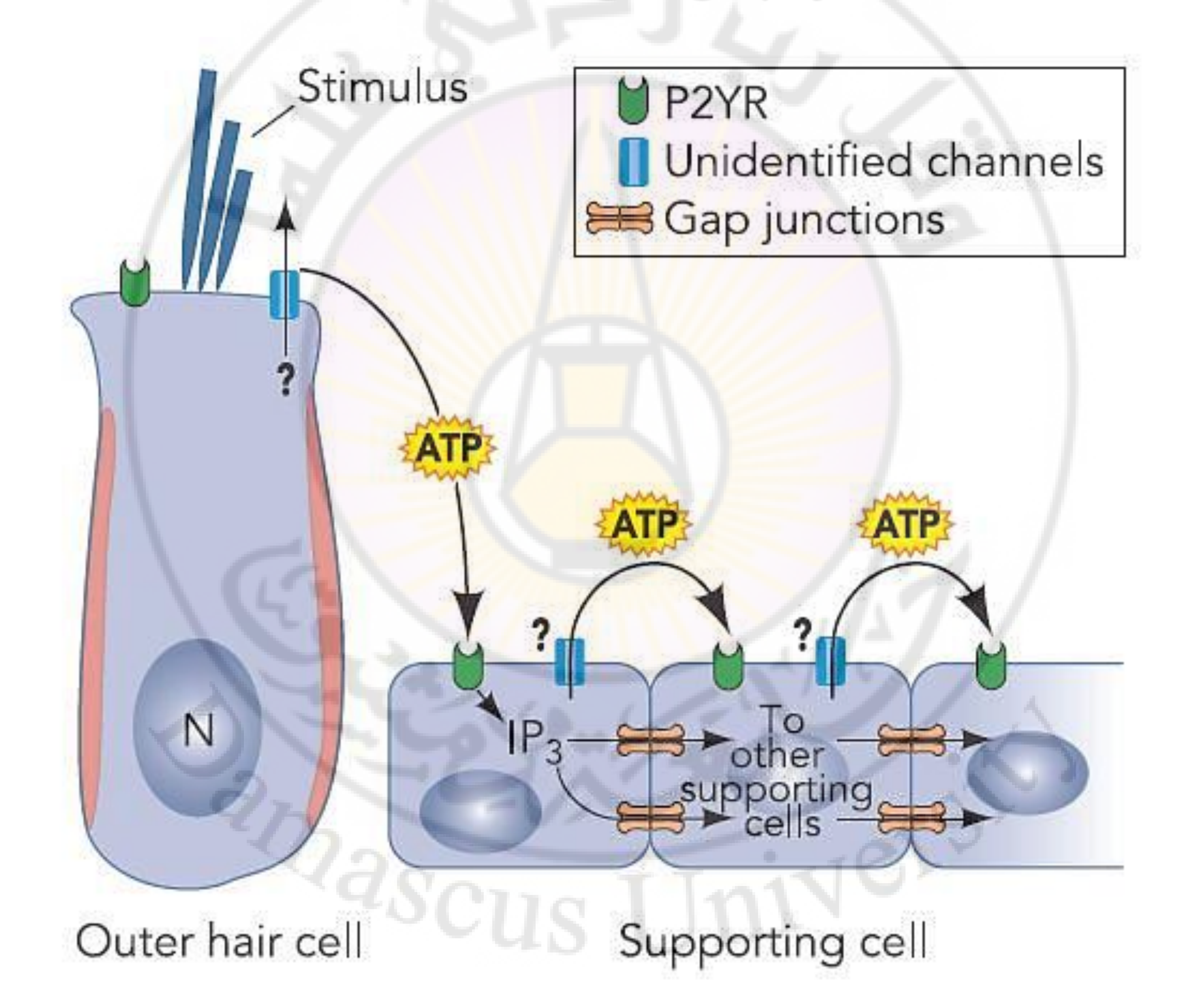


تحديد حجم قنوات الاتصالات الفجوية

- When fluorescent molecules of various sizes are injected into one of two cells coupled by gap junctions, molecules with a mass of less than about 1000 daltons can pass into the other cell, but larger molecules cannot.

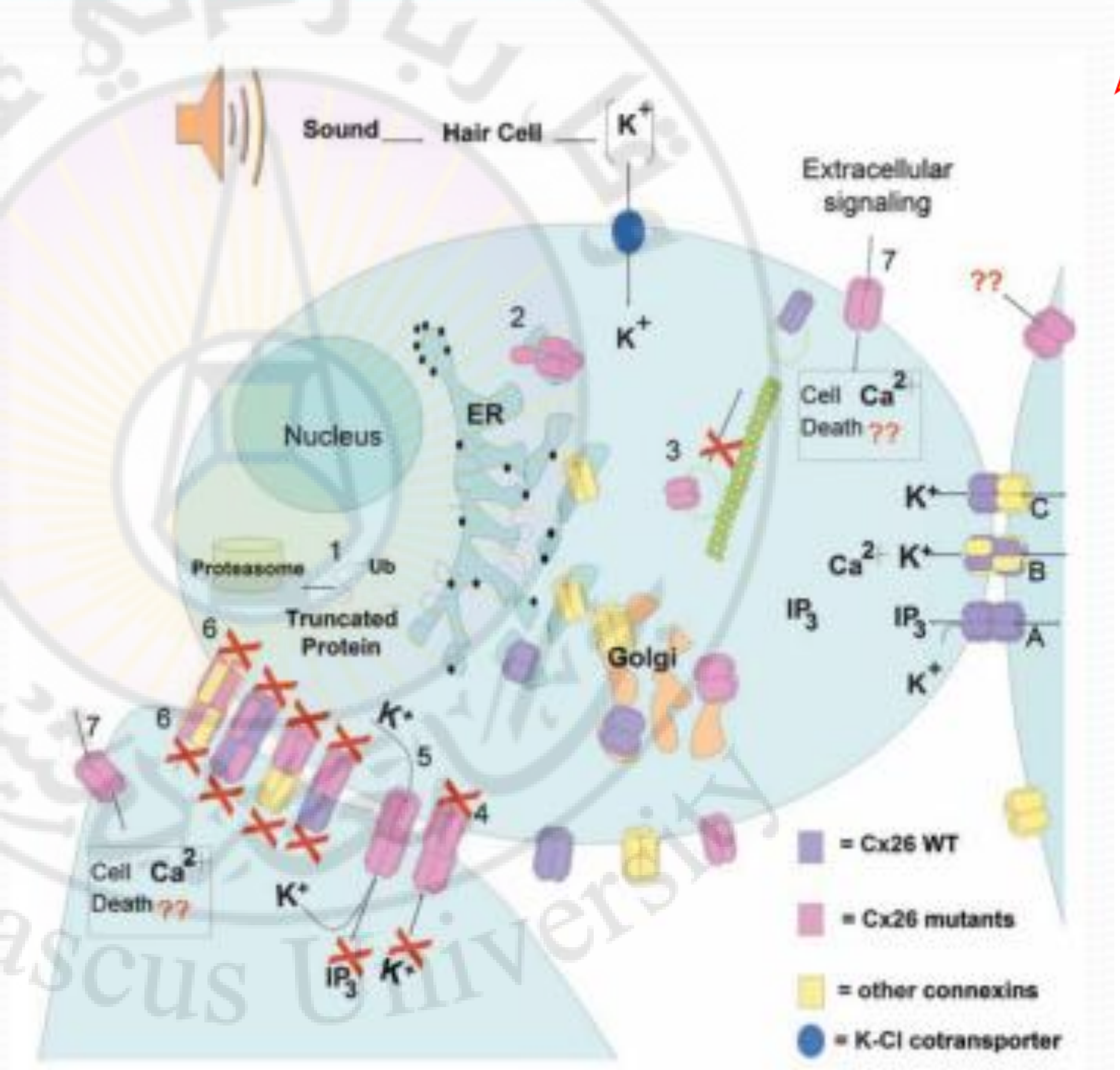


ATP diffusion through gap junctions



Pathogenic mechanism of deafness-associated Cx26 mutations

- Wild-type connexins oligomerize in the ER/Golgi.
- Hemichannels traffic to plasma membrane through the secretory pathway by a cytoskeletal-dependent mechanism.
- Epithelial and supporting cells in the cochlea express both Cx26 and Cx30. (A) Cx26 homomeric GJCh are permeable to ions, like K, and bigger molecules, like IP3.
- Cx30 homomeric GJCh have high permeability to K but lower permeability
- to IP3. (B) Heteromeric Cx26–Cx30 GJCh. (C) Heterotypic channels. Deafness-associated Cx26 mutations may produce.



أنماط المستقبلات البروتينية

ION-CHANNEL-COUPLED RECEPTORS

ions

signal molecule

plasma membrane

ENZYME-COUPLED RECEPTORS

signal molecule in form of a dimer

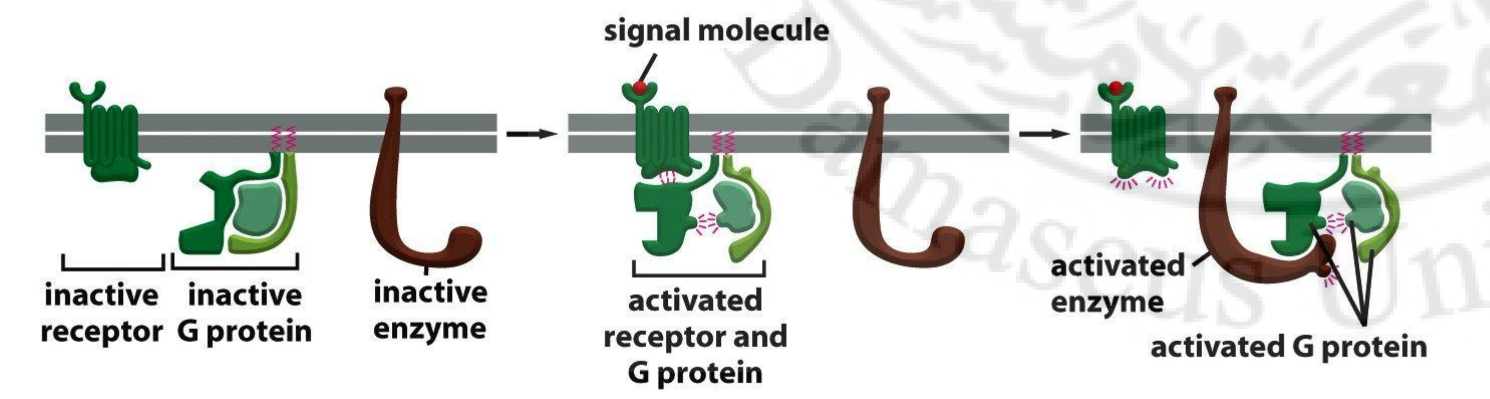
inactive catalytic domain

active catalytic domain

OR

signal molecule

activated associated enzyme





أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 2

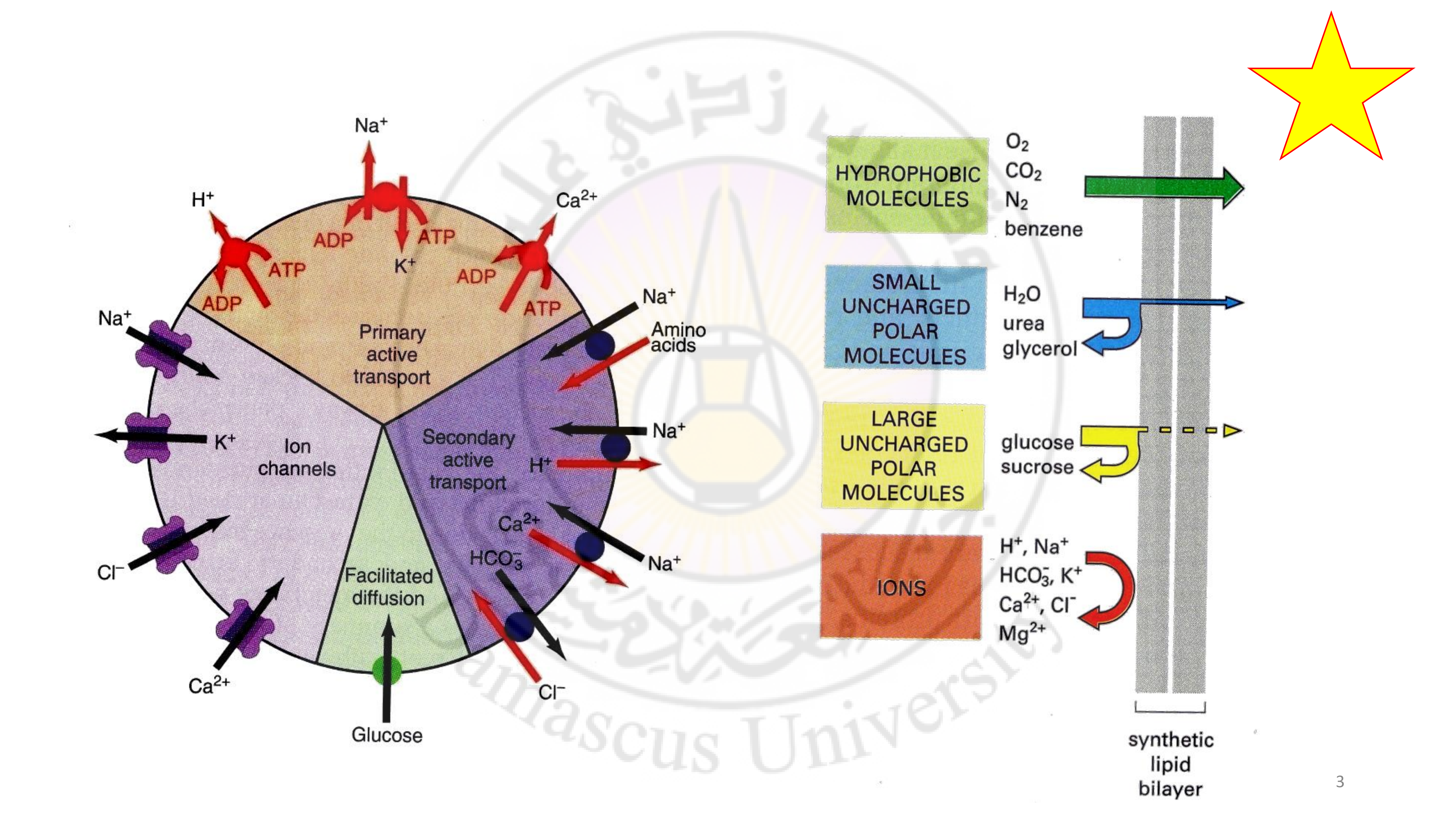
Ion Channels and Cell Stimulation

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

April 2023

القنوات الشاردية

- القنوات الشادرية في الجهاز العصبي هي المسؤولة عن تامين كمون الراحة في الغشاء الخلوي وبالتالي تحدد معدل إطلاق (تفعيل) الخلية Firing Rate وشكل موجة كمون العمل التي تتشكل وذلك من خلال اختلال توازن الشوارد عبر الغشاء الخلوي.
- الغشاء الخلوي ثنائي الطبقة الشحمية يشكل حاجزا كتيما امام معظم الشوارد والتي تضطر للجوء إلى وسائل العبور المساعدة وأهم هذه الوسائل هي القنوات الشاردية بأنواعها المختلفة.

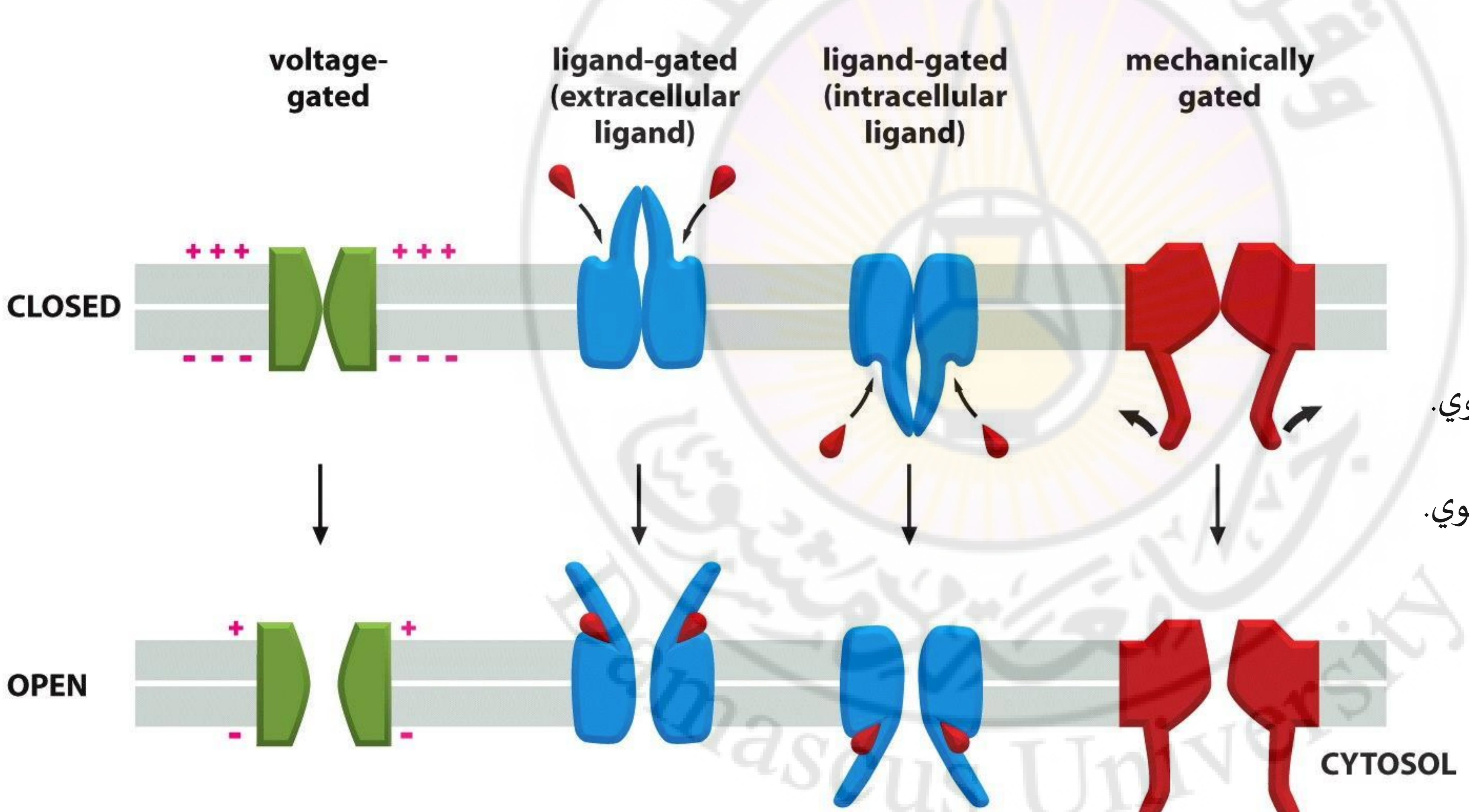


Na+
H+
Ca2+
ADP
ATP
K+
ADP
ATP
ADP
ATP
Primary
active
transport
Na+
Amino
acids
Na+
K+
Ion
channels
Secondary
active
transport
Na+
H+
Ca2+
HCO3-
Na+
Cl-
Facilitated
diffusion
Ca2+
Cl-
Glucose
HYDROPHOBIC
MOLECULES
O2
CO2
N2
benzene
SMALL
UNCHARGED
POLAR
MOLECULES
H2O
urea
glycerol
LARGE
UNCHARGED
POLAR
MOLECULES
glucose
sucrose
IONS
H+, Na+
HCO3-, K+
Ca2+, Cl-
Mg2+
synthetic
lipid
bilayer

فزيولوجيا القنوات الشاردية

- القنوات الشادرية هي بروتينات ضخمة تشكل أقنية تخترق الغشاء الخلوي.
- تصرف 30% من طاقة الخلية على حفظ التوازن الشاردي على طرفي الغشاء الخلوي من خلال الحفاظ على مدروج الصوديوم / بوتاسيوم خارج/ داخل الخلية بالترتيب.
- هذا المدروج الشاردي يحول طرفي الغشاء الخلوي إلى مايشبه البطارية (خازن كهربائي) والقنوات الشاردية هي التي تحرر الطاقة من خلال تحريك الشوارد عبرها ونزع استقطاب الخلية أو إعادتها إلى الاستقطاب حسب مرحلة الاستثارة الخلوية.
- تعتبر القنوات الشاردية أكثر كفاءة من الانزيمات حيث أن فتح بوابة gate قناة واحدة يسبب جريان ما يعادل 10 مليون شاردة خلال ثانية واحدة. وهذا الفاعلية العالية تنعكس على كثافة القنوات الشادرية عبر الغشاء حيث تعتبر قليلة نسبيا.
- تصنف القنوات الشادرية بحسب نوع الشاردة التي تنقلها فهي انتقائية Selective فمثلا لدينا قناة الصوديوم وقناة البوتاسيوم وقناة الكلور وغيرها..

أنواع القنوات الشاردية حسب آلية تفعيلها



- القنوات المرتبطة بمدروج الطاقة.
- القنوات التي تتفعل برابط خارج خلوي.
- القنوات التي تتفعل برابط داخل خلوي.
- القنوات التي تفتح ميكانيكيا

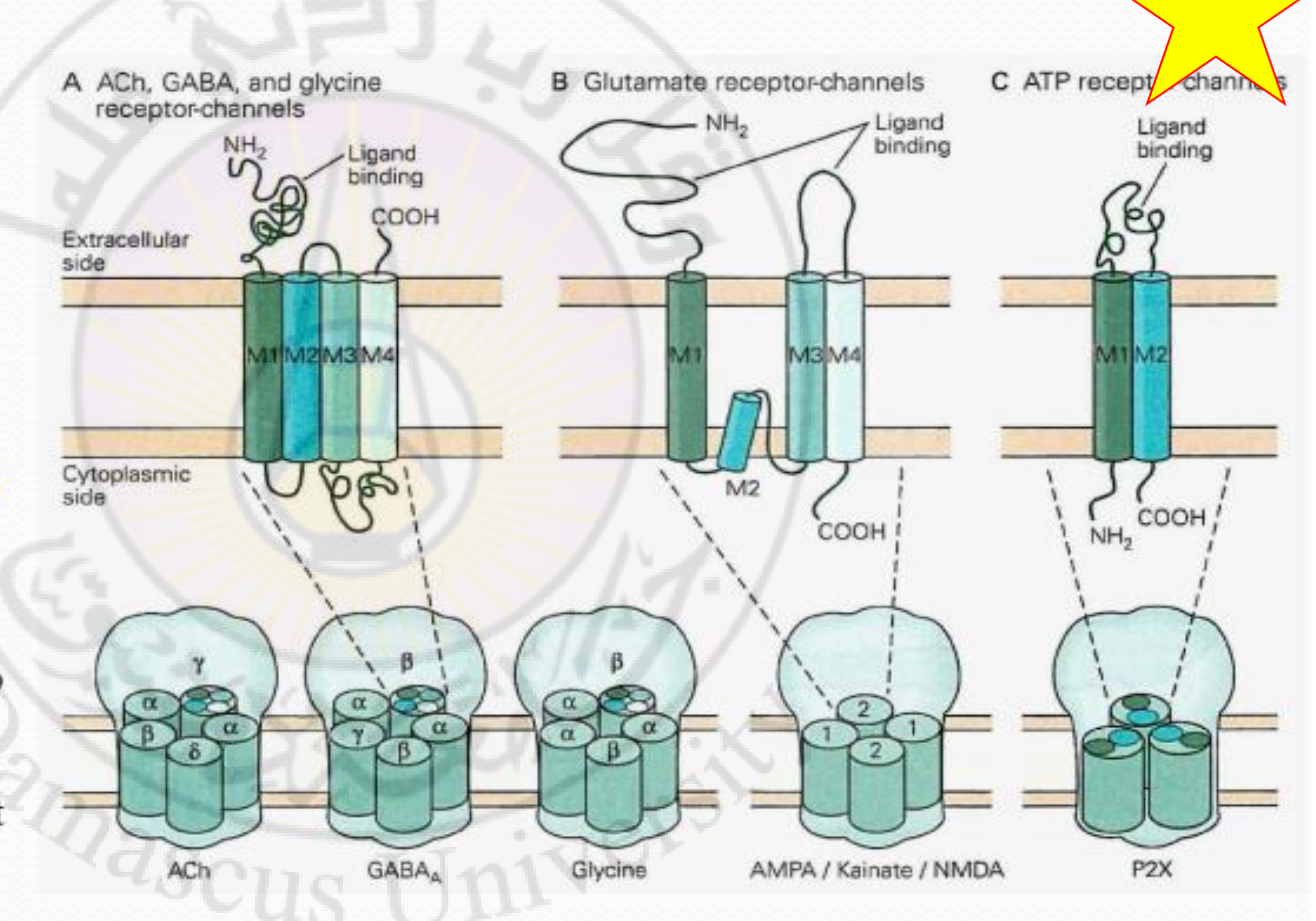
- **Channels**
  - Voltage gated channels
    - Na^+
    - Ca^{2+}
      - L type
      - T type
      - N Type
      - P/Q type
    - K^+
  - Ligand gated
    - Nicotinic ACh receptor
    - Glutamate receptor channel (NMDA)
    - GABA receptor channel
    - Ca^{2+} activated K^+ channel
    - Cyclic nucleotide-gated cation channel
    - Transient receptor potential
    - IP3 receptor
    - ATP-sensitive K^+ channel
    - . ...
  - Others
    - Gap junction
    - Aquaporins
    - ......
    - ....



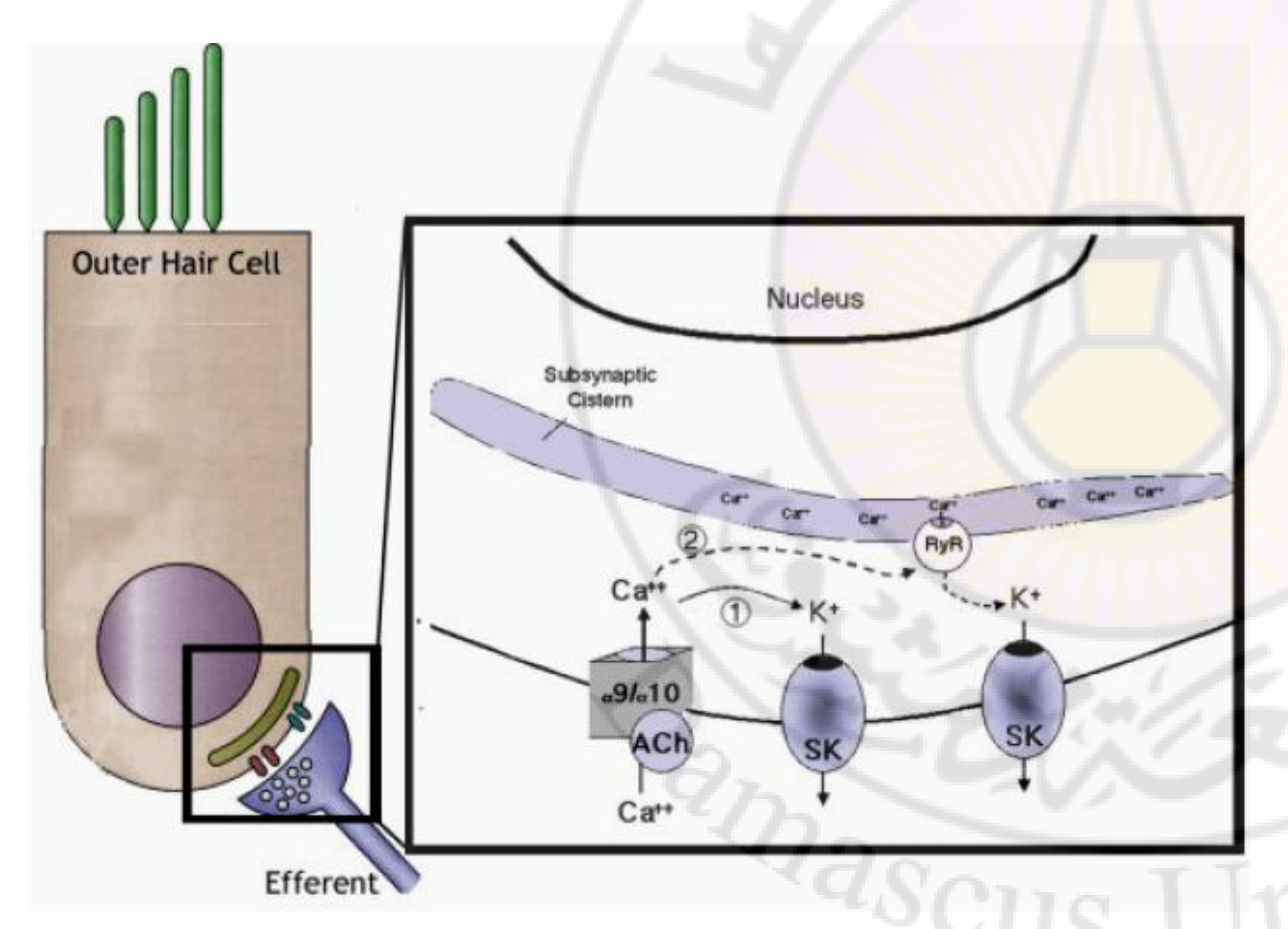
The three families of ligand-gated channels

- The nicotinic ACh, GABAA, and glycine receptor-channels are all pentamers composed of several types of related subunits.
- The glutamate receptor-channels are tetramers.
- The ATP receptor-channels (or purinergic P2X receptors) are trimers.

- Each subunit possesses two membrane-spanning a-helixes (M1 and M2) and a large extracellular loop that binds ATP. The M2 helix lines the pore.



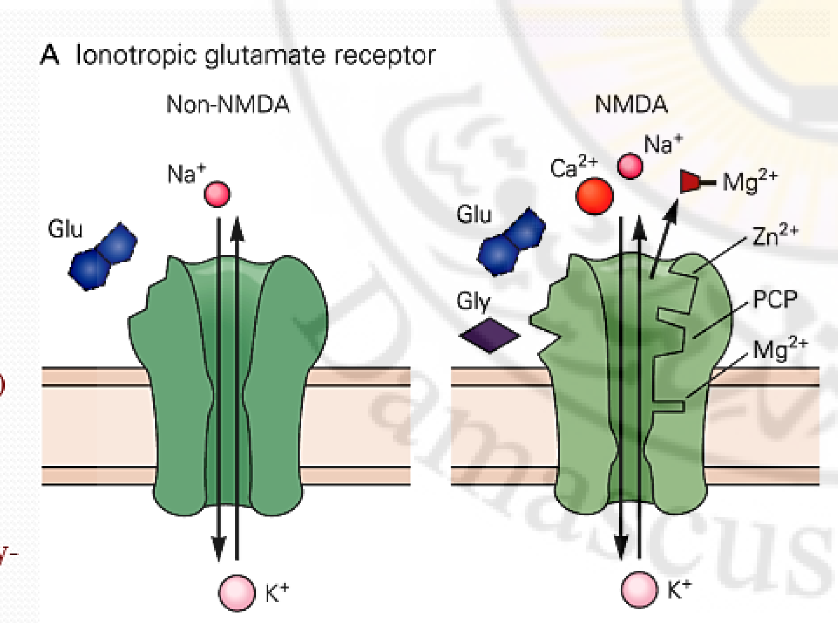
The two-channel hypothesis of outer hair cell cholinergic mediated inhibition



مثال عن المستقبلات الكولينرجية تلك الموجودة في الخلايا المشعرة الخارجية والتي تتفعل بالطريق الصادر من المركب الزيتوني وتؤمن تثبيط سريع للخلايا المشعرة الخارجية بأحد الطرفين والتي تعتبر أحد أهم آليات تثبيط الضجيج من أحد الأذنين عند استقبال المنبه الكلامي من الطرف الآخر.

Glutamate Receptors

- يعتبر الغلوتامات الناقل العصبي الأهم في الجهاز السمعي وله دور مفعل حيث يرتبط بنوعين من المستقبلات مع القنوات الشادرية تسمى مستقبلات النامدا NMDA glutamate receptor ومستقبلات غير النامدا.
- يتم حصر هذه المستقبلات تحت تأثير العديد من الأدوية وقد يكون هذا الحصر مؤقتا أو دائما ويشكل الآلية الباثولوجية للعديد من الأدوية في إحداث السمية الدوائية Ototoxicity.



- NMDA (*N*-methyl- D-aspartate) receptors
- Non- NMDA receptors
  - Kainate
  - AMPA (α-amino-3-hydroxy-5-methylisoxazole-4-propionic acid)

مضخة الصوديوم بوتاسيوم Na, K-ATPase

- تلعب مضخة الصوديوم بوتاسيوم دورا هاما في الحفاظ أو عودة استقطاب الغشاء الأساسي لاستثارية الليف العصبي أو الخلية المستثارة.
- تتفعل القناة في المرحلة الأخيرة من نزع استقطاب الخلية عندما ينطلق كمون العمل وتخرج شاردة البوتاسيوم بكميات هائلة خارج الخلية ويصبح من الضروري عودة الصوديوم إلى خارج الخلية والبواتسيوم إلى داخلها عكس المدروج وهذا العمل يتطلب صرف طاقة ال ATP.
- للمضخة دور هام في الحفاظ على حجم الخلية، درجة ال PH، وتركيز الكالسيوم.
- يضطرب عمل المضخة عندما يقل توافر الطاقة لتفعيلها بسبب خلل عمل المتقدرات عند المرض كالالتهاب والتوذم والتسمم وغيرها، الأمر الذي ينعكس على استثارية الخلايا ومالذلك من مشكلات متعددة أهمها التثبيط العصبي أو بطء النقل العصبي.

Na^+-K^+-ATPase

Na^+,K^+pump

Na^+ pump

(EC 3.6.3.9)

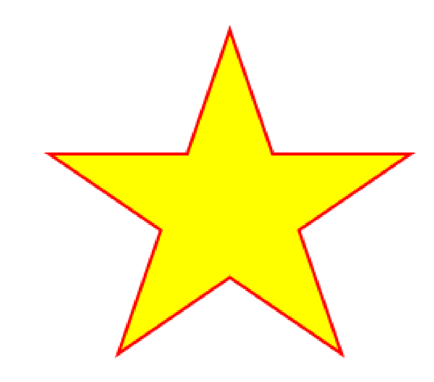
First described by Skou in 1957

Maintenance of the K+ gradient between endolymph and perilymph is essential for normal hearing and depends primarily on the activity of the stria vascularis.

Abundant Na-K-ATPase in marginal strial cells **provides a pumping mechanism for preserving the K+ level of the endolymph and consequently, the** **endocochlear potential**.

José Ramón García Berrocal, et al.
Acta Otorrinolaringol Esp. 2008;59(10):494-9.
Intervention of Spiral Ligament Fibrocytes in the Metabolic Regulation of the Inner Ear:

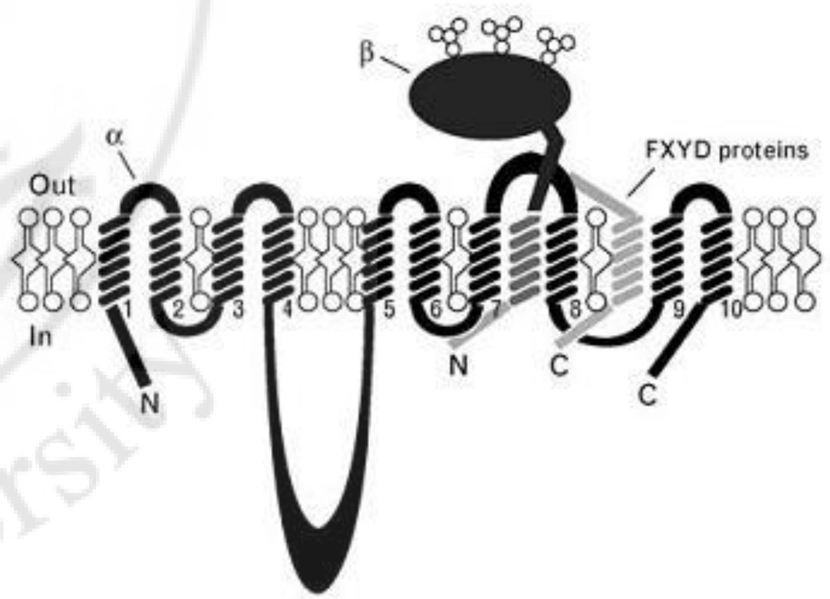
Na+ Pump



Exterior
β
α
Cytosol
ATP-binding region
P-class pump

a
c
b
γ
ε
δ
α
α
β
F- and V-class pump

T
T
A
A
ATP-binding region
ABC superfamily

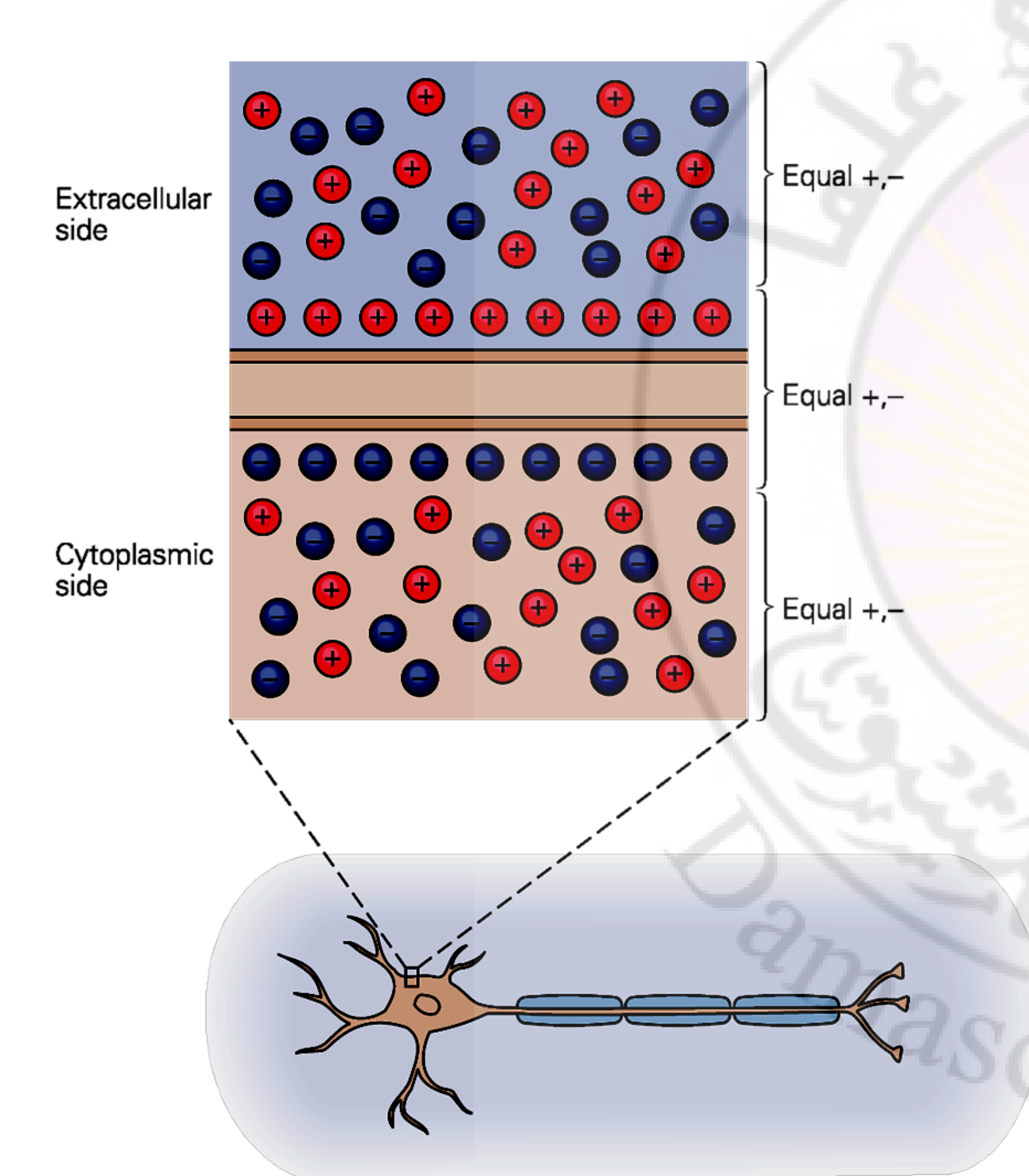


Schematic drawing of trans-epithelial Na+ transport in the inner ear

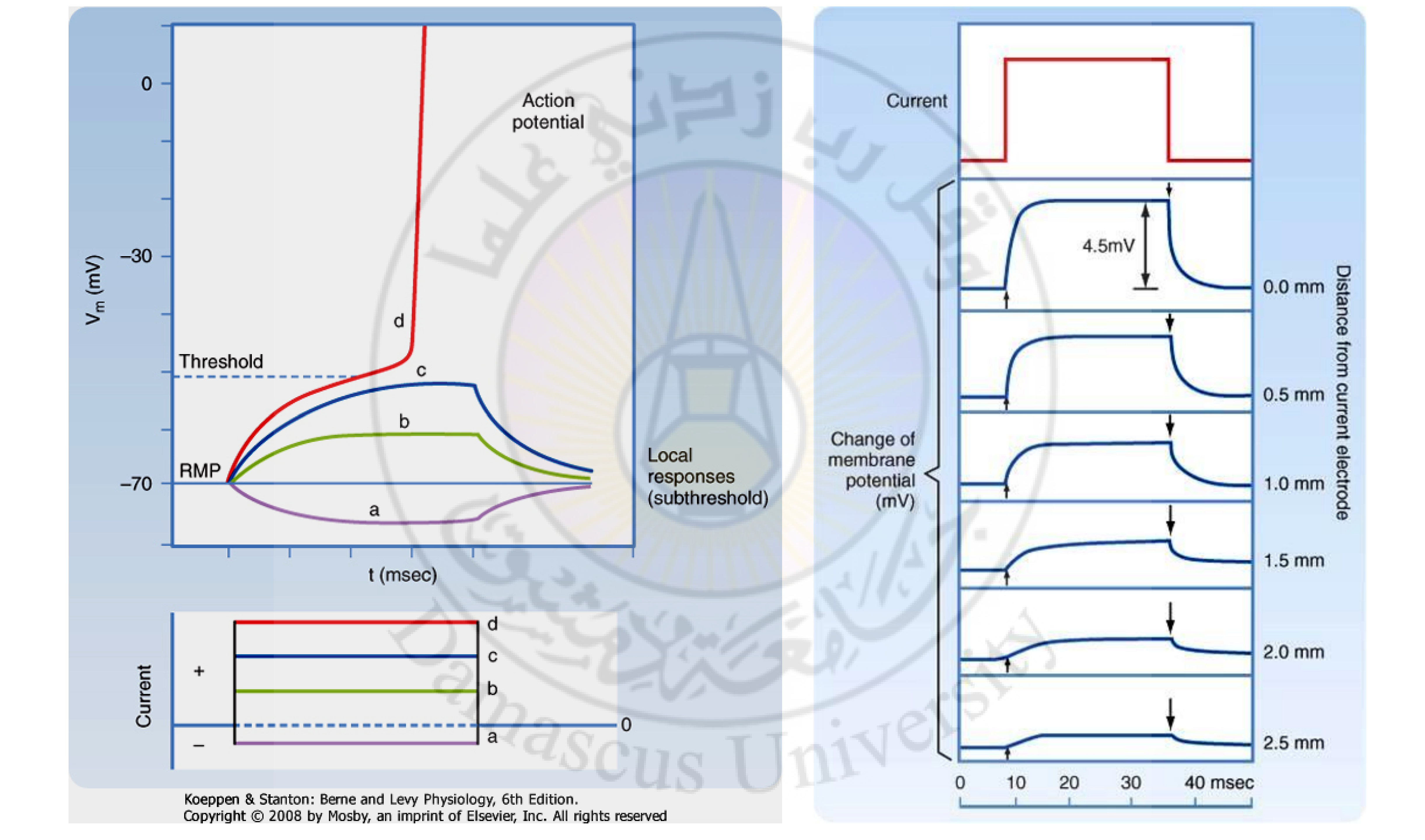


Kim SH, Marcus DC. Regulation of sodium transport in the inner ear, 2011

كمون الراحة أو كمون المستقبل أو الغشاء

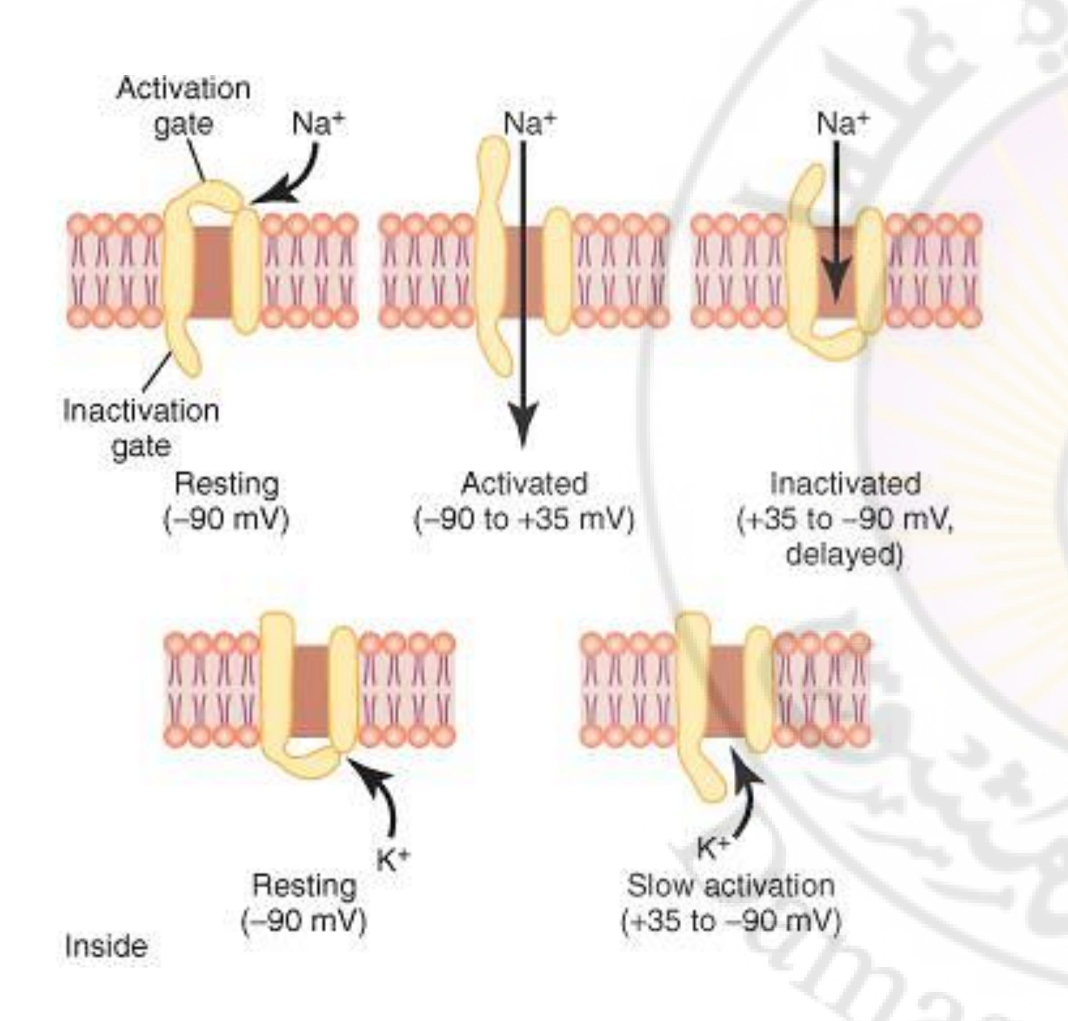


- تلعب القنوات الشاردية دورا أساسيا في استقطاب الخلايا.
- الخلية تكون معتدلة كهربائية وما يسمى بالاستقطاب ينجم عن اصطفاف مجموعة من الشوارد الموجبة والسالبة على جانبي الغشاء محققة مبدأ الخازن للشحنة.
- كمون الراحة هو الفرق بين شحنة الوسط داخل الغشاء القاعدي مطروحا منه الشحنة خارج الغشاء وهو ذو قيمة سلبية عادة يختلف حسب الخلية.
- يتطلب تفعيل الخلايا دخول مقدار كبير من شوارد الصوديوم مسببا نقص في الشحنة السالبة لكمون الراحة باتجاه عتبة التنبيه وعندما يتجاوز المقدار عتبة التنبيه تستثار الخلية وينطلق كمون العمل فيها وفي حال فشل التنبيه الوارد بتجاوز العتبة يتلاشى في مكانه.



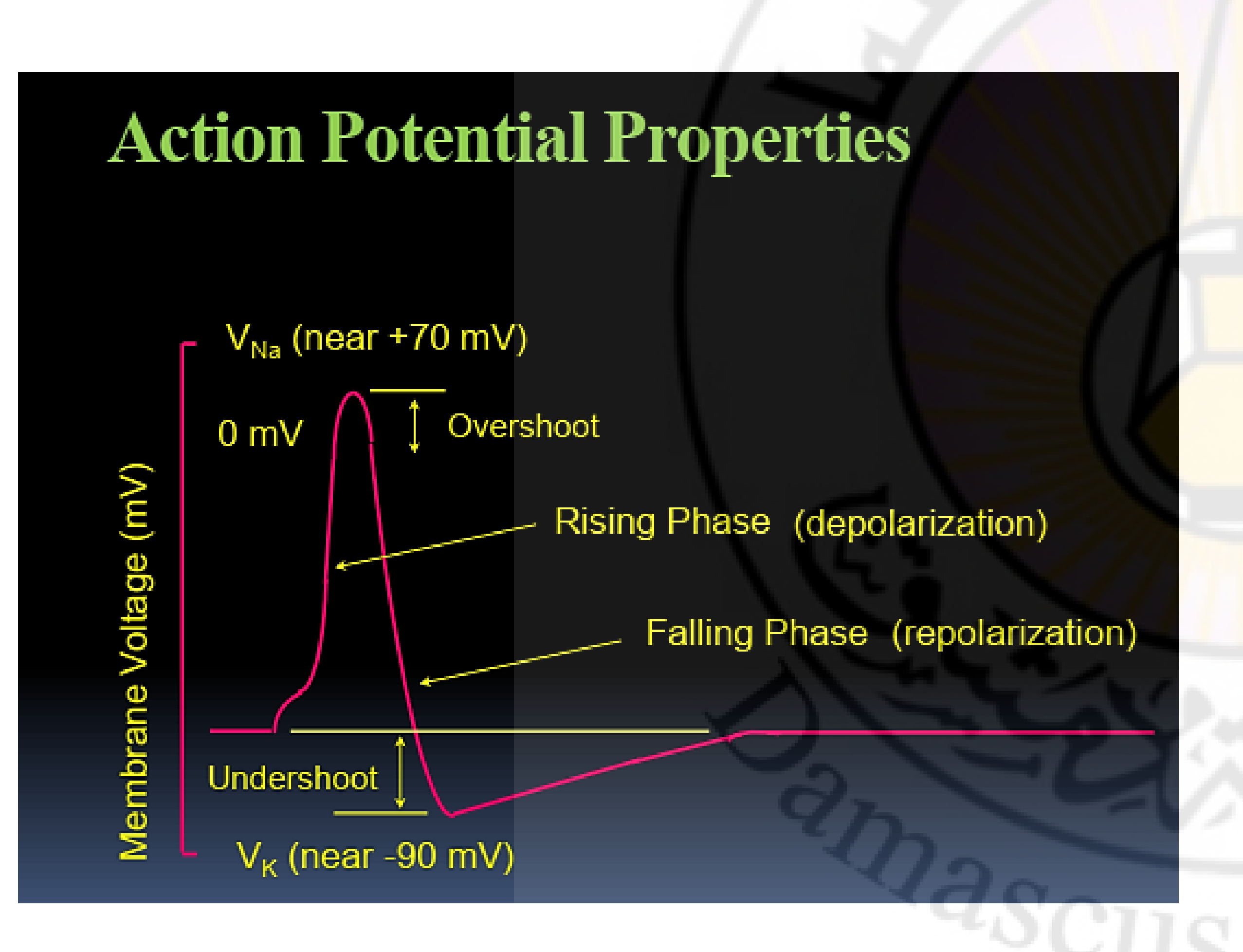
Koeppen & Stanton: Berne and Levy Physiology, 6th Edition.

Action Potential كمون العمل



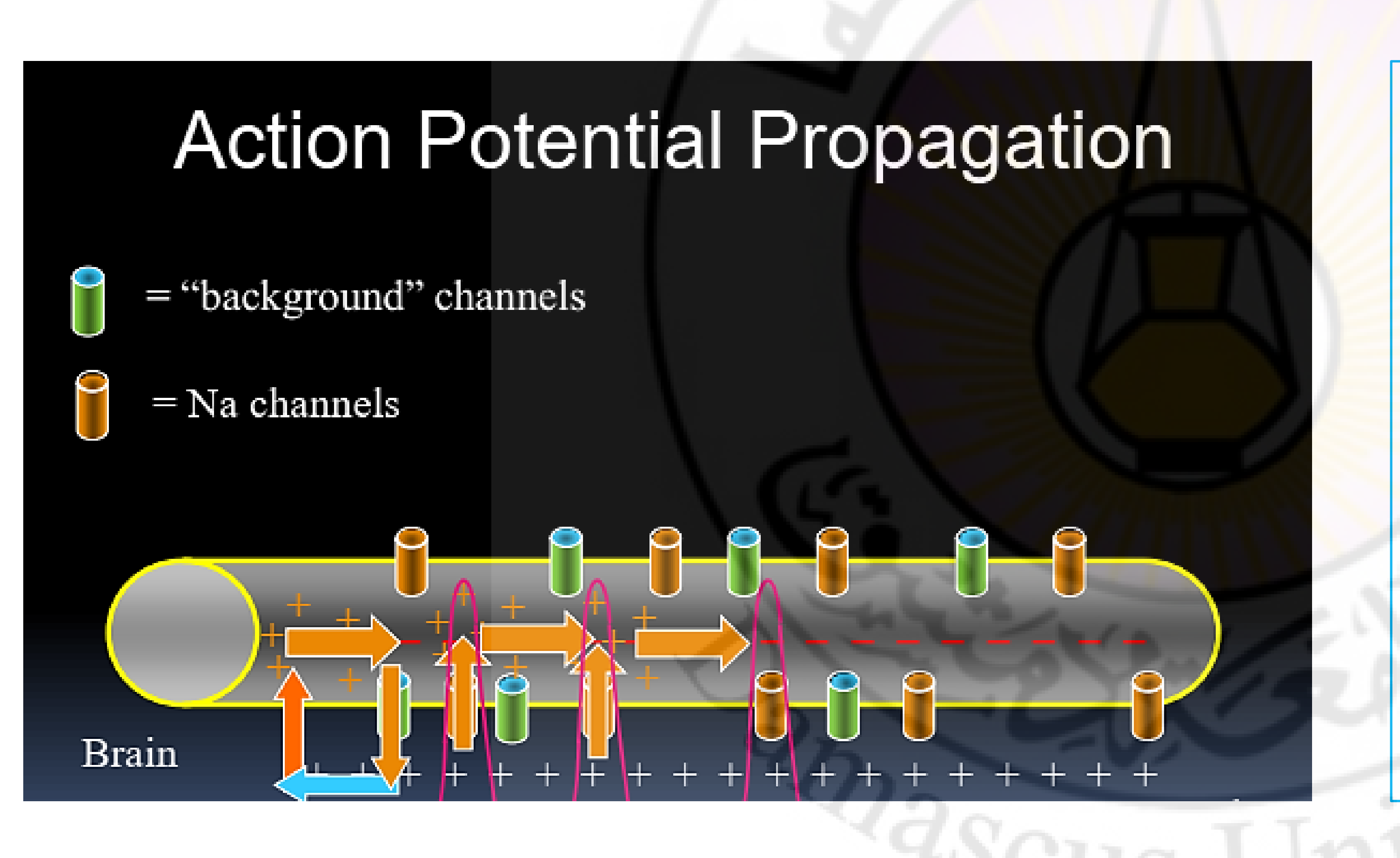
- وهو فرق الكمون الناجم عن تفعيل الخلية المستثارة ويبدأ بوصول رسالة الناقل العصبي إلى مستقبلاتها على القنوات الشاردية مسببة انفتاح قنوات الصوديوم ودخوله للخلية ما يسبب نزع استقطاب الخلية ثم يحدث انفتاح لقنوات البوتاسيوم مسببة خروجه من الخلية مساعدا في عودة الخلية إلى الاستقطاب لتتدخل مضخة الصوديوم تعيد حالة الاستقرار الشاردي للخلية.

خصائص كمون العمل



- تنبيه غشاء العصبون بمستوى مساوي او يفوق العتبه (اكثر من ١٥ ميلي فولت)
- دخول سريع وفعال لشوارد الصوديوم عبر الأقنية الشاردية
- نزع استقطاب – عودة استقطاب وفرط استقطاب غشاء العصبون
- يتبع قانون الكل أو اللاشيء
- مدته محدودة (5 ميلى ثانيه)
- يولد حقل كهربائي متحرك(داياناميك)

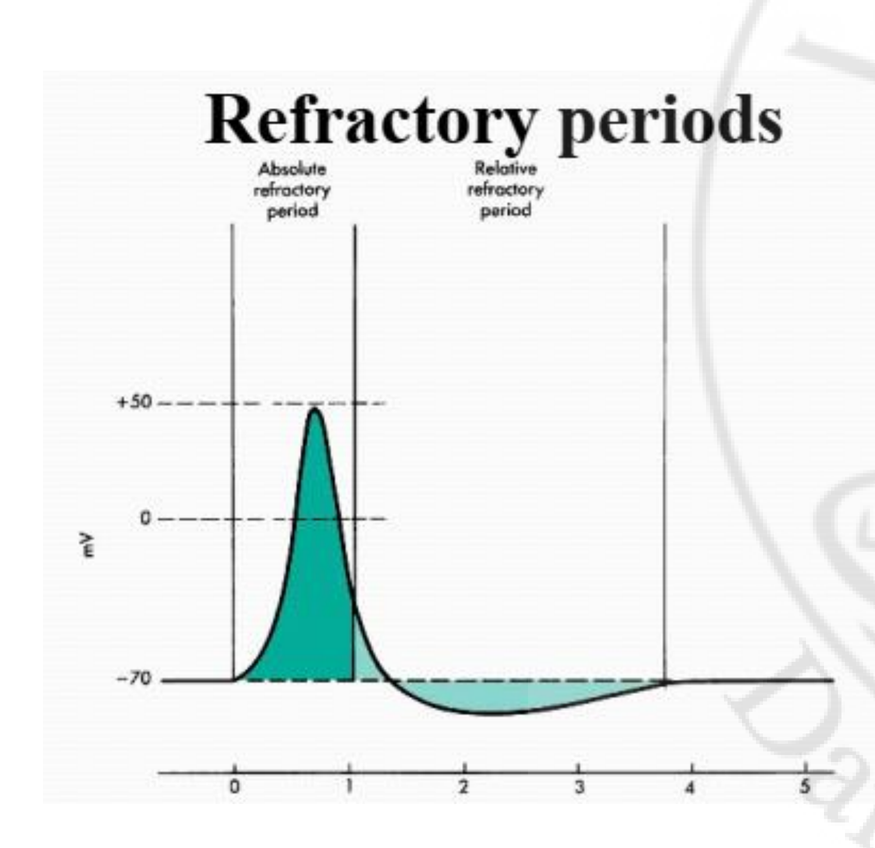
نتائج توليد كمون العمل في الجهاز السمعي



- نزع الاستقطاب: بسبب دخول شوارد الصوديوم داخل الاستطالات العصبونية: يشكل الحوض/ (+) /Sink
- في الجهة الأخرى للاستطالة يتشكل تيار معاوض سلبي(-) المنبع //Source
- كنتيجة يتم توليد ثنائية القطب Dipole
- و النتيجة النهائية:

إيجاد الكمونات السمعية الكهربية المحرضة evoked Potentials, EP)

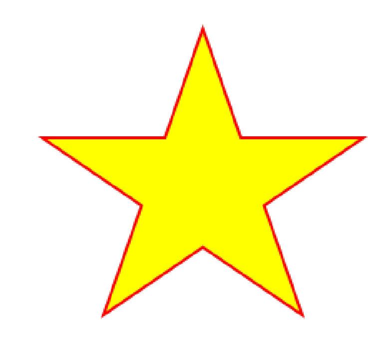
زمن العصيان والتنبيه العصبي

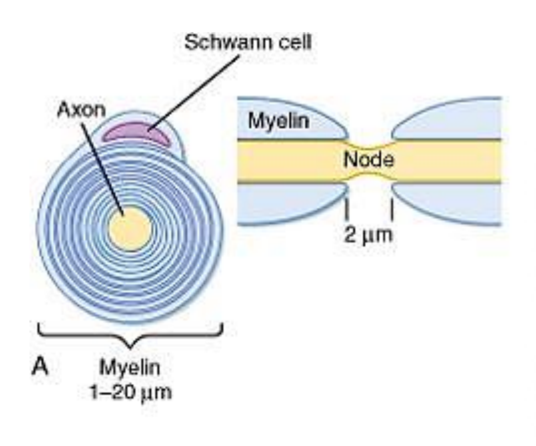


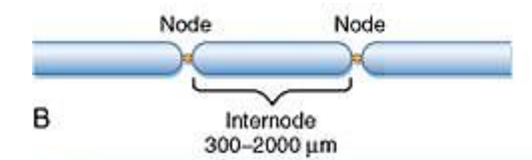
- أثناء مراحل كمون العمل تكون القنوات الشاردية في أقصى تنبيه لها بحيث لايتمكن أي تنبيه وارد من تفعيل عدد اكبر من القنوات وبالتالي استقبال تنبيه آخر وتسمى هذه الفترة بالعصيان المطلق وبالتدريج تبدأ مضخة الصوديوم بالعمل وتساعد الخلية بالتدريج للعودة إلى استقطابها وهنا يمكن لبعض المنبهات القوية أن تفتح عدد أكبر من القنوات وحدوث تنبيه جديد وتسمى هذه الفترة بالعصيان النسبي.

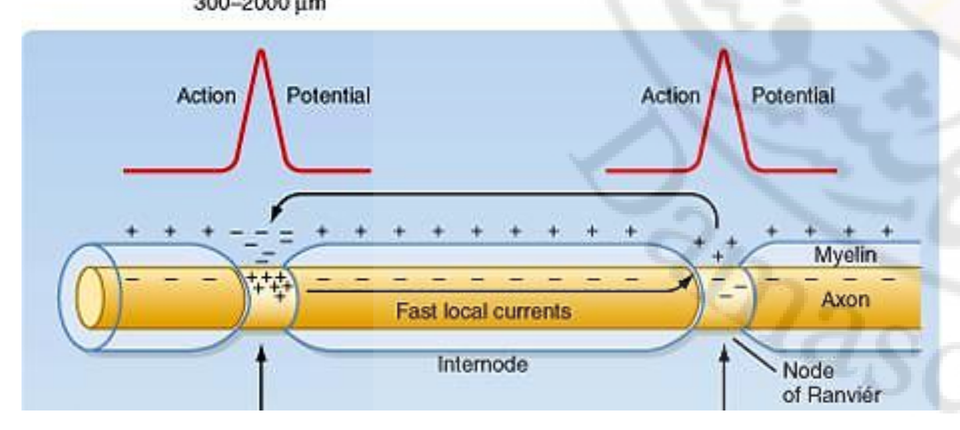
- لهذا الأمر تطبيقات كبيرة في علم الفزيولوجيا الكهربائية السمعية ستدرس لاحقا وأهمها اختيار معدل تنبيه مناسب لمعدل إطلاق الليف العصبي.

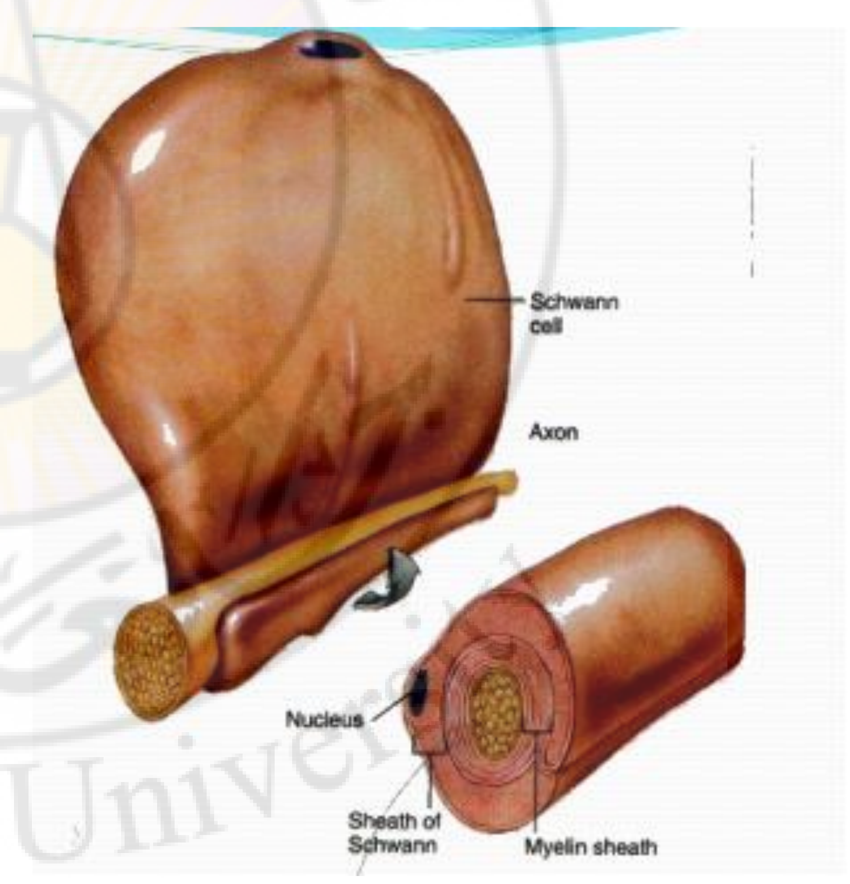
دور غمد النخاعين في سرعة انتقال التنبيه













أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 3

Synapses

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

April 2023

المشابك Synapses

- المشابك العصبية: Neural synapse هي أماكن من جسم الخلية أو نتوءاتها (استطالاتها),حيث تقوم نواقل كيميائية (هي النواقل العصبية) بنقل السيالة (الدفعة العصبية) من عصبون إلى آخر, أو من عصبون إلى خلية أخرى خارج الجهاز العصبي (عضليَّةٍ مثلاً كالوصل العصبي العضلي).

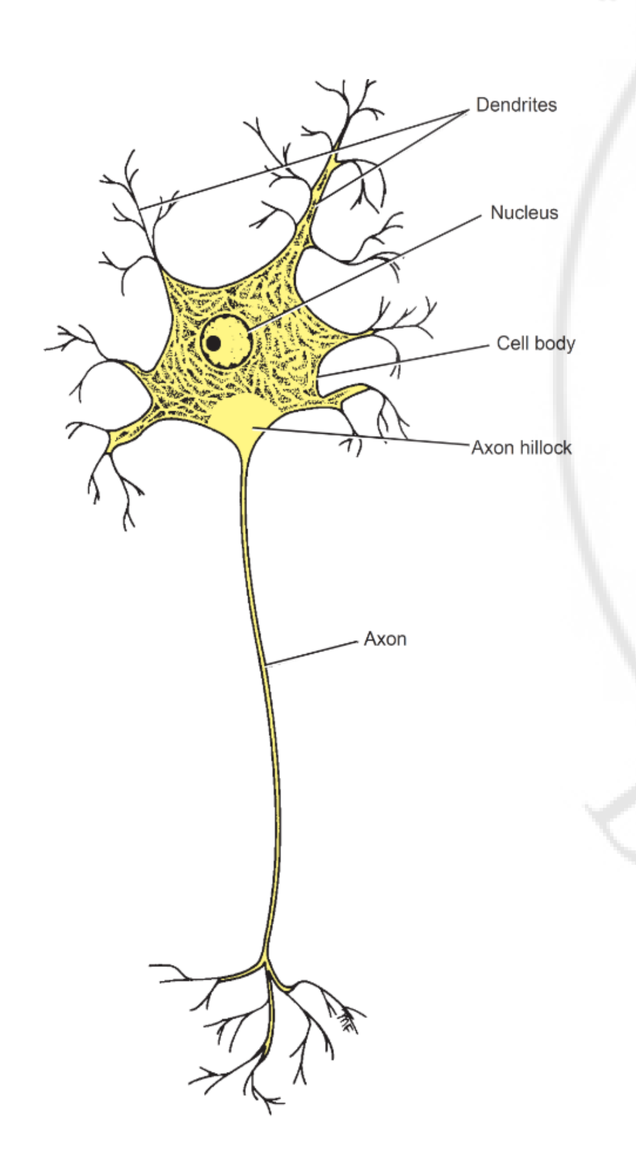
- بعض الوسائط العصبية (النواقل العصبية) Neurotransmitters تقليديٌّ classic، مثل الأستيل كولين والنورأدرينالين. و بعضها عُرِف حديثاً، مثل أحاديات الأمين Monoamines, الحموض الأمينية Amino Acids, أُكسيد النتريك Nitric Oxide, والببتيدات العصبية Neuropeptides.

- للمشابك دور أساسي في نقل الإشارة العصبية (تنبيه حسي – حركي – ذاتي) من الجهاز العصبي المحيطي إلى المركزي وبالعكس ومن وإلى الأعضاء المنفذة للتنبيه والجهاز العصبي المركزي.

- للمشابك أنواع وأشكال عديدة تختلف باختلاف الوظيفة المنوطة بها.

- تشكل كمون ماقبل مشبكي نتيجة التحفيز العصبي هو أساس تحرر النواقل العصبية وتنبيه الغشاء مابعد المشبكي لنقل الإشارة.

لمحة نسيجية عن الجهاز العصبي

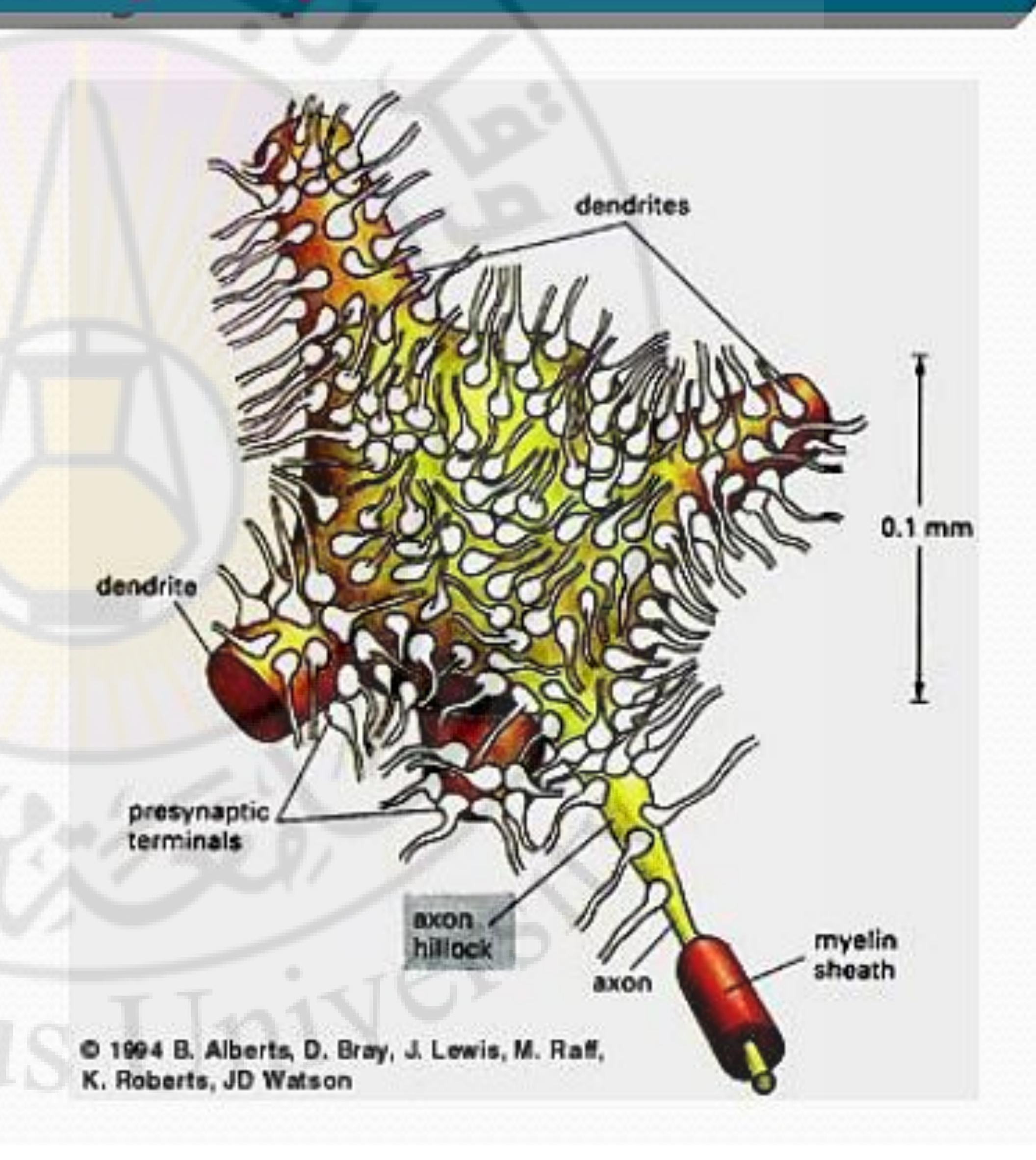


- النسيج العصبي Neural Tissue
- العَصَبونات (الخلايا العصبية) Neurons والخلايا الدبقية Neuroglia (Glial Cells).

- العَصَبون (الخلية العصبية) Neuron
  - جسم الخلية Cell Body (Soma)
  - النواتئ العصبونية Neuron processes:
    - الاستطالات الهيولية (التغصنات) Dendrites.
    - المحور Axon.

The point at which two neurons communicate is known as a Synapse

- Axodendritic (Dendritic spin)
- Axosomatic
- Axo-axonal (axon to axon),
- Dendrodendritic (dendrite to dendrite) bern2008
- Dendrosomatic (dendrite to soma)



Different type of synapses

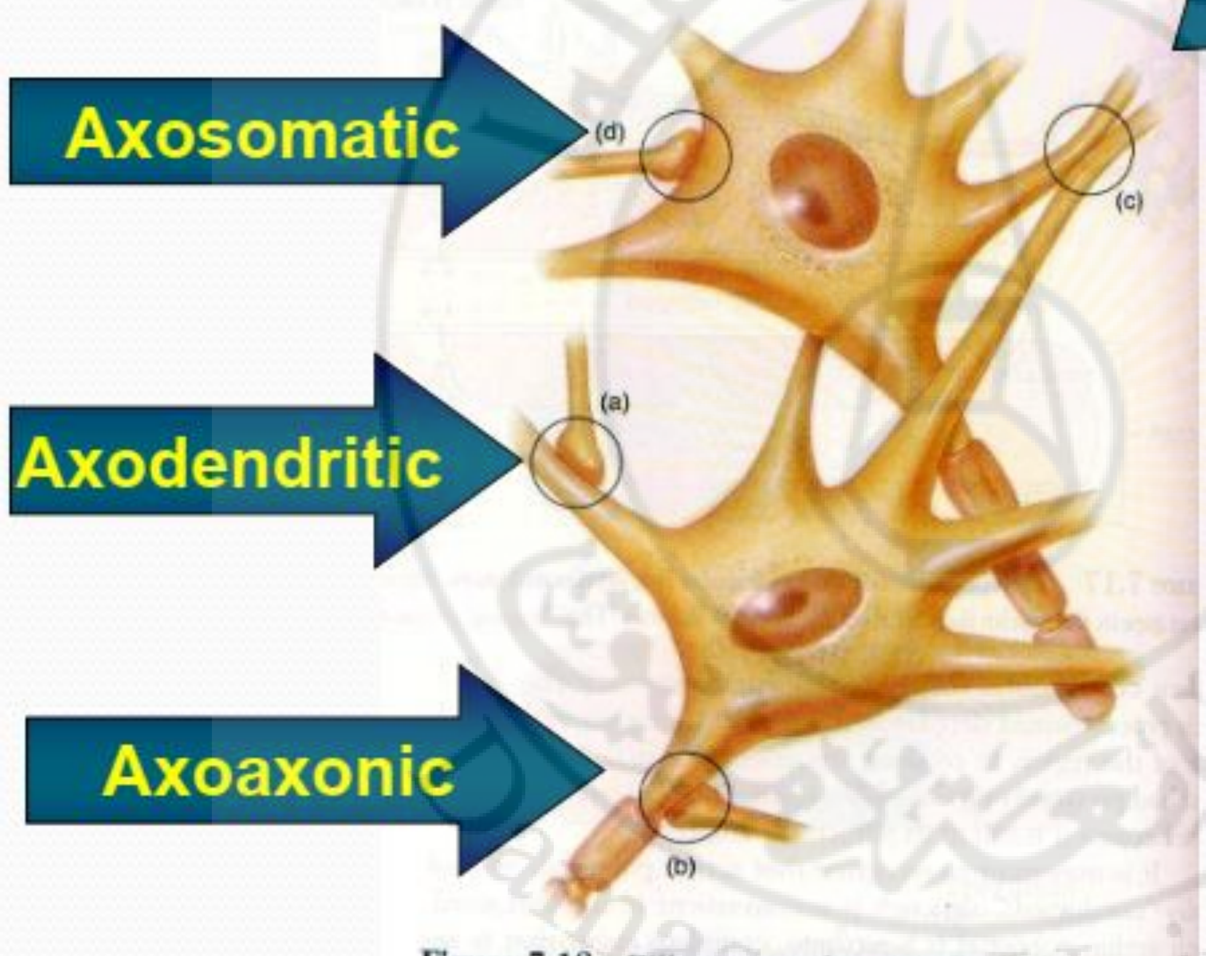
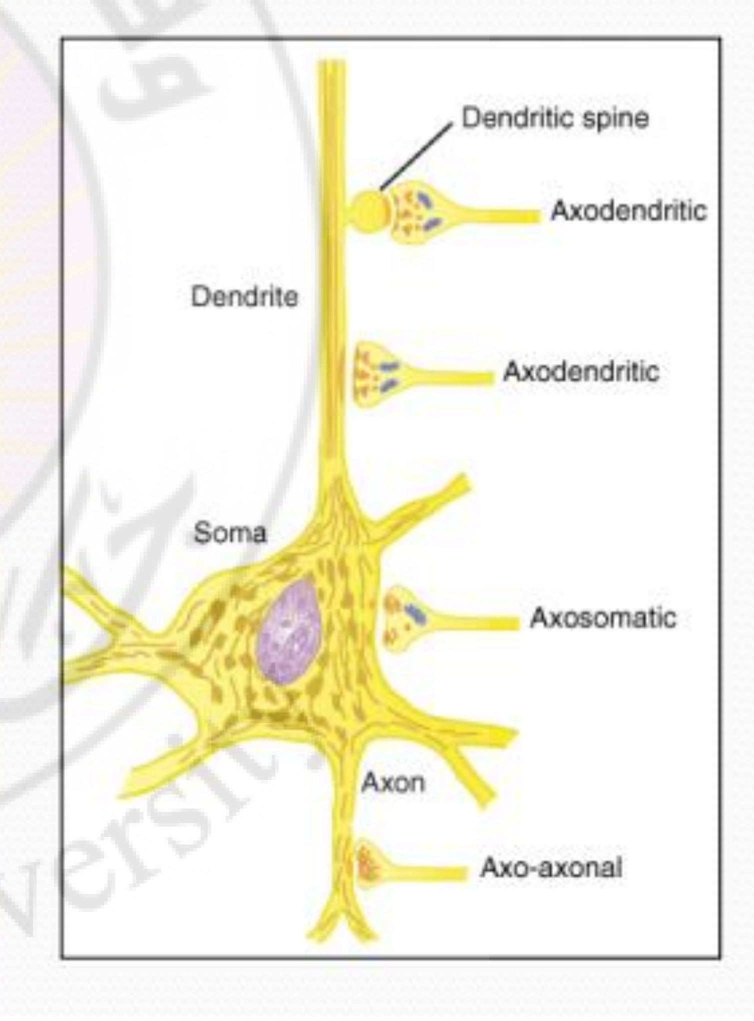
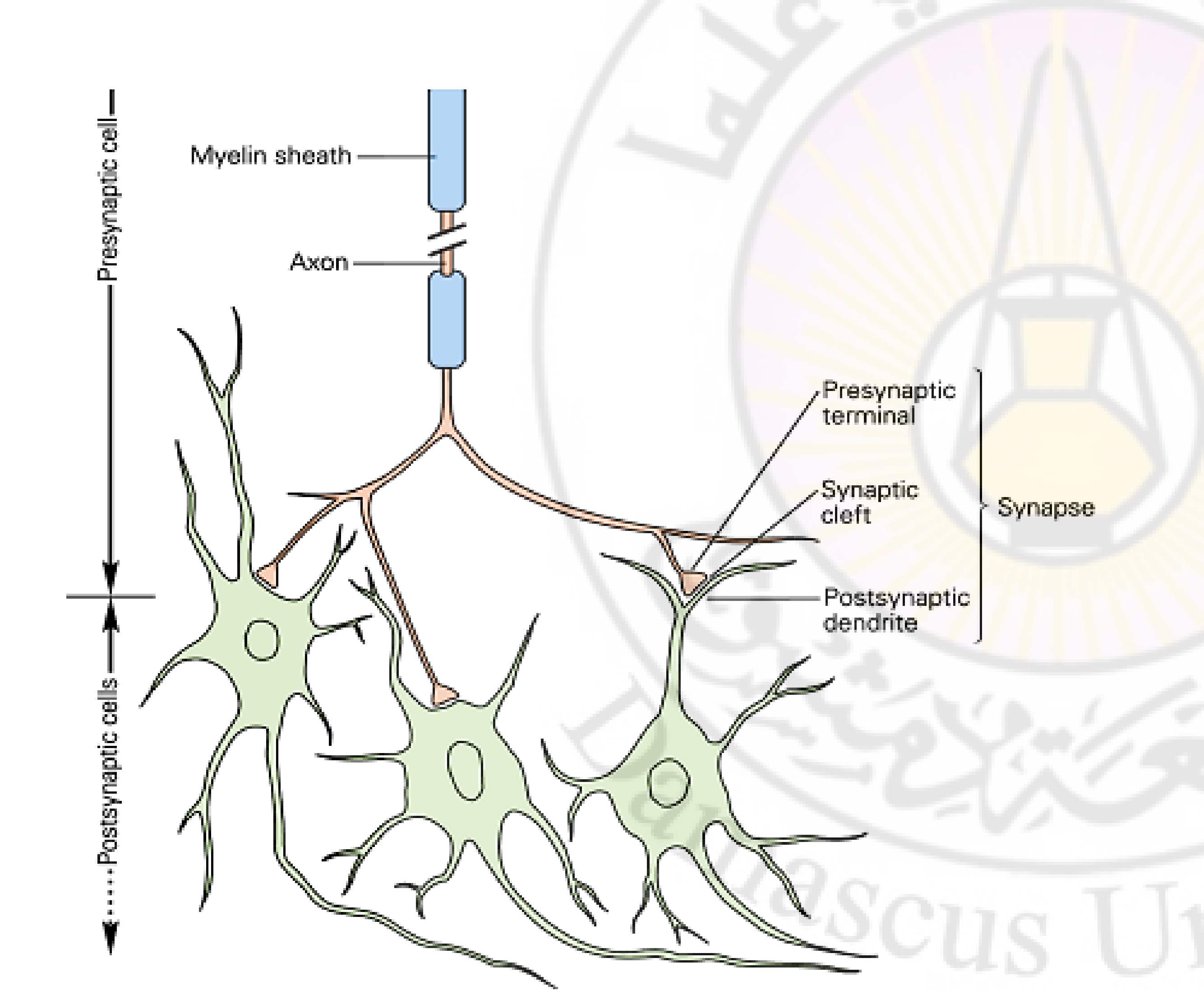


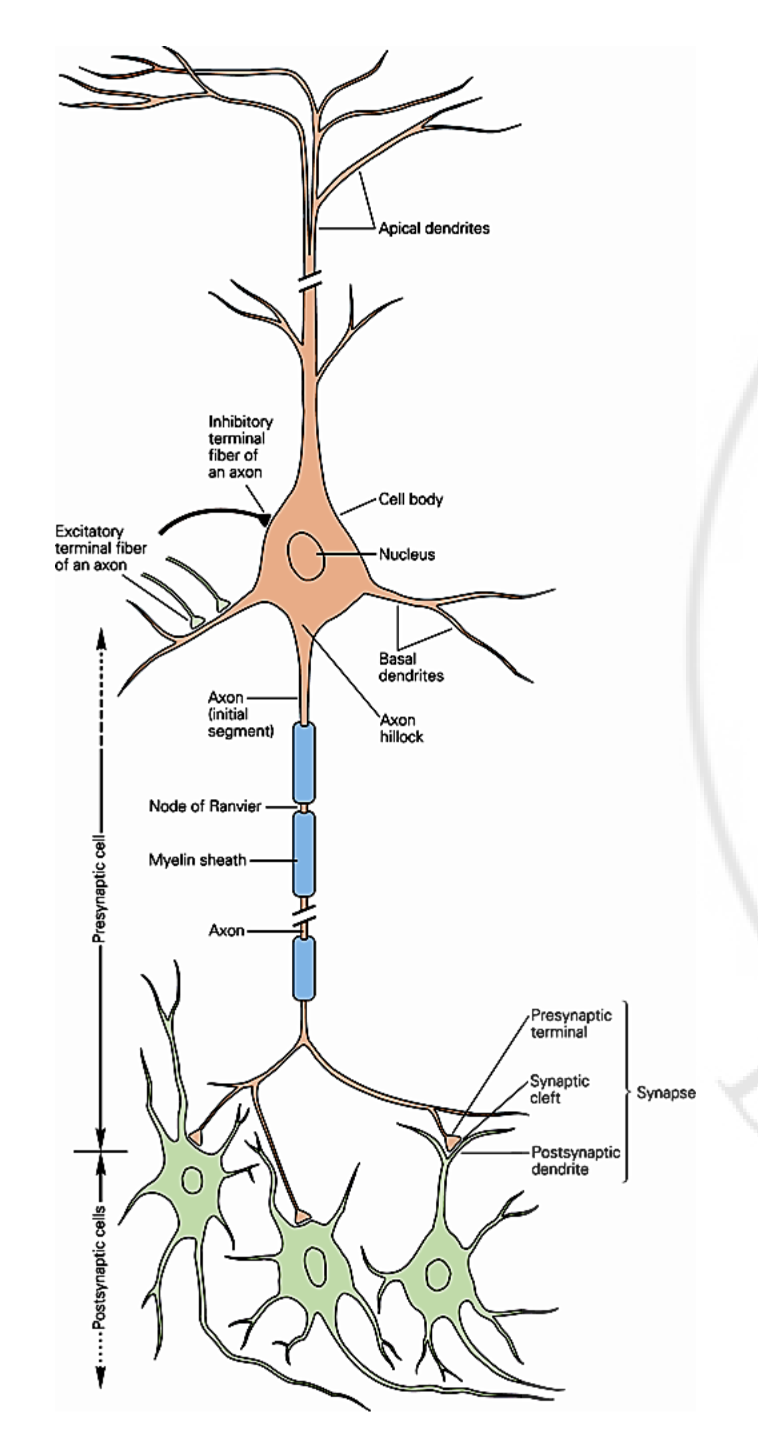
Figure 7.18 Different types of synapses. Depicted here are *(a)* axodendritic, *(b)* axoaxonic, *(c)* dendrodendritic, and *(d)* axosomatic synapses.



المشابك العصبية



- يمكن لتغصنات محور العصبون أن تؤمن اتصالات مشبكية مع اكثر من 1000 خلية عصبية أخرى.
- تعتبر المحاور الجزء المصدر من العصبون Output element بينما تعتبر التغصنات Dendrites الجزء المستقبل من العصبون Input element وتستطيع التغصنات مع جسم العصبون استقبال الكثير من الإشارات العصبية من خلال العديد من المشابك بينها وبين عصبونات أخرى.

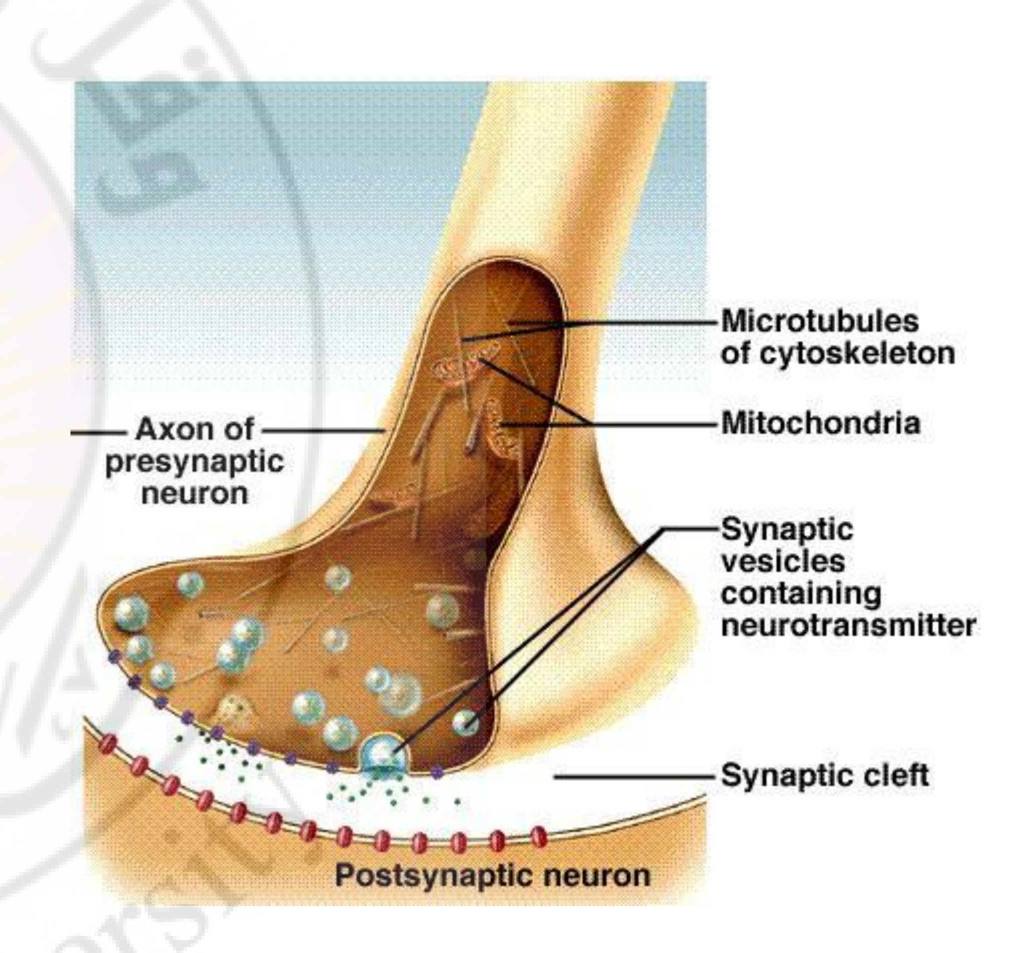


وظيفة المشابك

- يتشكل الكمون ماقبل المشبكي Presynaptic Potential عند تنبيه العصبون ماقبل مشبكي مما يسبب تحرر النواقل العصبية في الفضاء المشبكي وارتباطها بمستقبلاتها على الغشاء مابعد المشبكي مسببة أحداث كهربائية تشكل مايسمى الكمون مابعد مشبكي Postsynaptic Potential والذي بدوره يتجمع زمانيا بالتنبيه المتكرر ليصل إلى عتبة استثارة العصب مطلقا كمون عمل ينتشر على طول العصبون مابعد مشبكي.
- تكون الإشارة المنتقلة عبر المشبك تحفيزية او تثبيطية حسب نوع النواقل والمستقبلات الموجودة على الغشاء مابعد المشبكي.

Synaptic Transmission النقل المشبكي

- يعتبر النقل المشبكي أساسي للوظائف العصبية كالإدارك والحركة والتنظيم العصبي والتعلم والذاكرة.
- تظهر أهمية المشابك من حجم الاتصالات التي تستطيع خليه عصبية واحدة انشاءها وتتراوح بين 1000 إلى 10000 مشبك.
- هناك شكلين أساسيين للمشابك العصبية وتتعلق بآلية النقل العصبي فيها وهي الكهربائية والكيميائية.
- تسمى المنطقة من الغشاء ماقبل المشبكي والمقابلة للغشاء بعد المشبكي بالمنطقة الفعالة Active Zone وتسمى المسافة بين الغشاء بالشق المشبكي Synaptic Cleft.
- تكون المنطقة الفعالة غنية بالحويصلات المشبكية التي تحوي النواقل العصبية وبعضها يكون بمرحلة الالتصاق ومستعد لتحرير النواقل كما تكون غنية أيضا بقنوات الكالسيوم الفولتاجية.



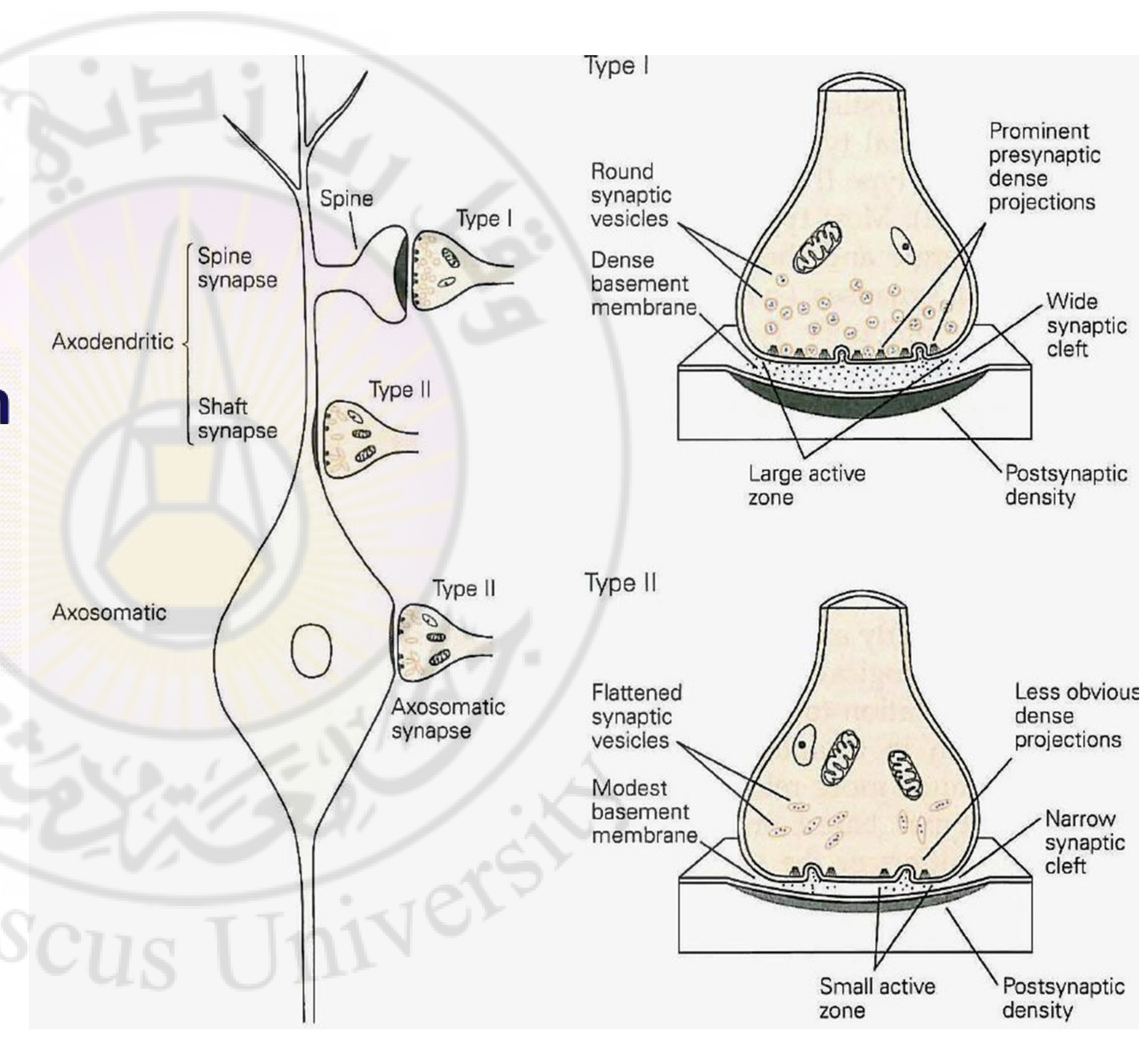
العصبونات المحفزة والعصبونات المثبطة

- تختلف وظيفة العصبون باختلاف المشبك الذي يشكله فقد يكون تحفيزي excitatory وقد يكون تثبيطي Inhibitory.
- من الناحية المورفولوجية تم توصيف شكلين من المشابك في الجهاز السمعي: Gray I, Gray II.
- في النمط الأول يكون الغلوتامات هو المكون الأساسي في الحويصلات المشبكية وهذه المشابك تكون تحفيزية وتكون هذه الحويصلات ضخمة ومكتظة.
- في حين يشكل الغابا GABA المكون الأساسي في النمط الثاني والذي يختص بالمشابك التثبيطية.
- هناك فرق مورفولوجي آخر وهو تواجد مناطق كثيفة الكترونيا Electron-dense region على الغشاء ماقبل المشبكي يقابلها كثافات فعالة على الغشاء مابعد المشبكي Postsynaptic density وتميز المشابك التحفيزية.
- في المشابك المثبطة تكون الحويصلات مسطحة او بيضوية والكثافات ماقبل المشبكية أقل وضوحا.

Synaptic Transmission

Is either **Electrical** or **Chemical** in Nature

Is **Excitatory** or **Inhibitory**



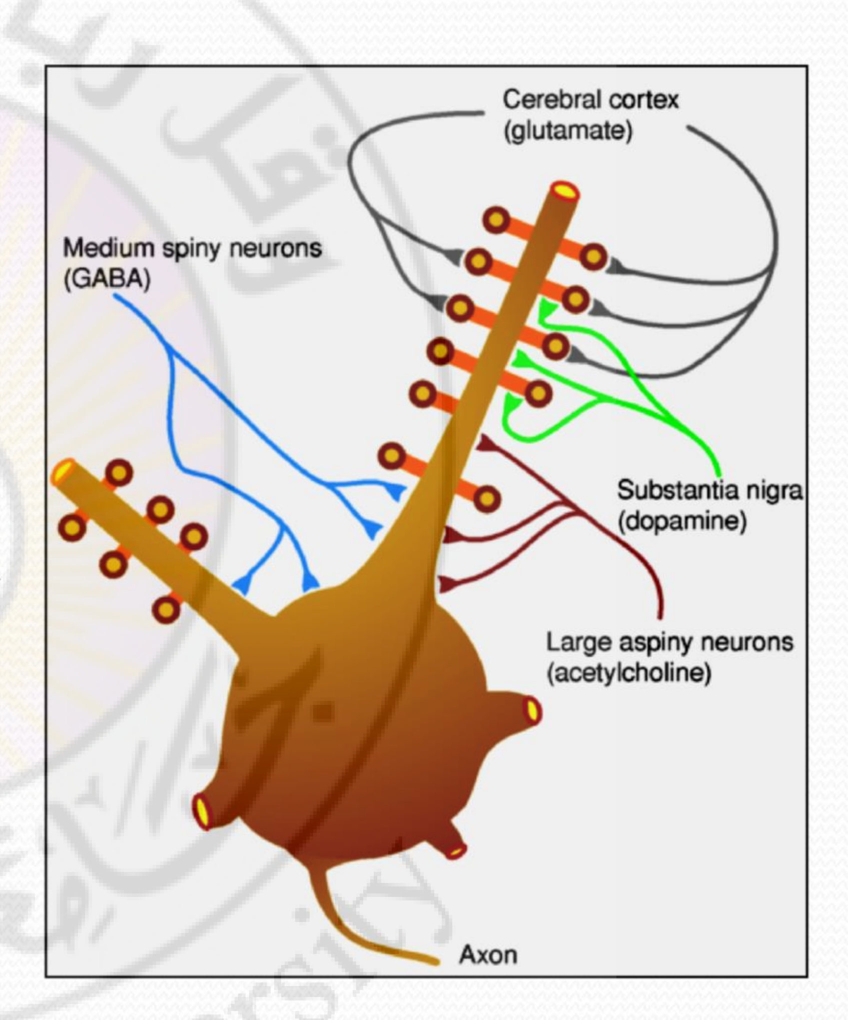
Spine

- Spines are membranous protrusions from the neuronal surface.

- They consist of a **head** (volume ~ 0.001–1 µ3) connected to the neuron by a thin (diameter <0.1 µm) spine **neck.**

- They may arise from the **soma**, **dendrites**, or even the **axon hillock**, and they are found in various neuronal populations in all vertebrates and some invertebrates.
- Human brain thus contains **$>10^{13}$ spines**.

- Spines are highly specialized compartments for rapid large-amplitude Ca2+ signals underlying the induction of synaptic plasticity.



خصائص المشابك الكهربائية

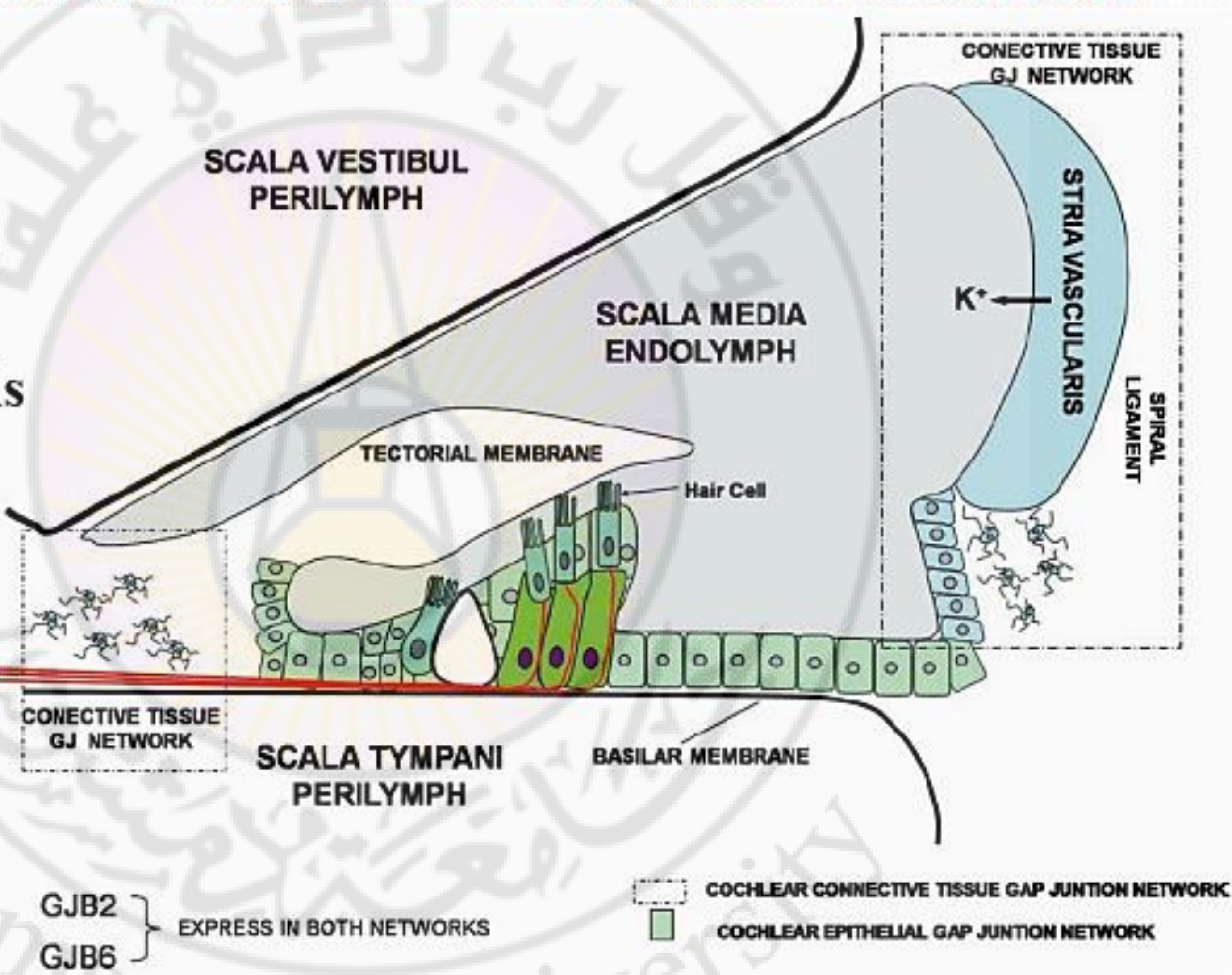
- المشابك الكهربائية سريعة جدا بحيث تؤمن الاستجابة اللازمة في الوقت المناسب.
- النقل الكهربائي ضروري لتنسيق استجابة عدد كبير من الألياف العصبية بشكل متزامن (التجمع الحجمي Spatial Summation) بحيث تحقق استجابة كبيرة تنتقل إلى العضو الهدف دون ضياع.
- في الجهاز العصبي السمعي يعتبر وجود المشابك الكهربائية والاتصالات الفجوية أساسيا في نقل المعلومة السمعية على مستوى العصب السمعي وجذع الدماغ محققة الدقة التواترية والزمنية Spectral discrimination, temporal resolution والتي تعتبر أساسية لترميز الكلام.
- أهم النواقل الفعالة التي تعبر الاتصالات الفجوية في الحلزون هي ال IP3، ال ATP ، وشاردة البتاسيوم للحفاظ على الكمون داخل الحلزوني Endocochlear Potential.

Distinguishing Properties of Electrical and Chemical Synapses

Type of synapse	Distance between pre- and postsynaptic cell membranes	Cytoplasmic continuity between pre- and postsynaptic cells	Ultrastructural components	Agent of transmission	Synaptic delay	Direction of transmission
Electrical	4 nm	Yes	Gap-junction channels	Ion current	Virtually absent	Usually bidirectional
Chemical	20–40 nm	No	Presynaptic vesicles and active zones; postsynaptic receptors	Chemical transmitter	Significant: at least 0.3 ms, usually 1–5 ms or longer	Unidirectional

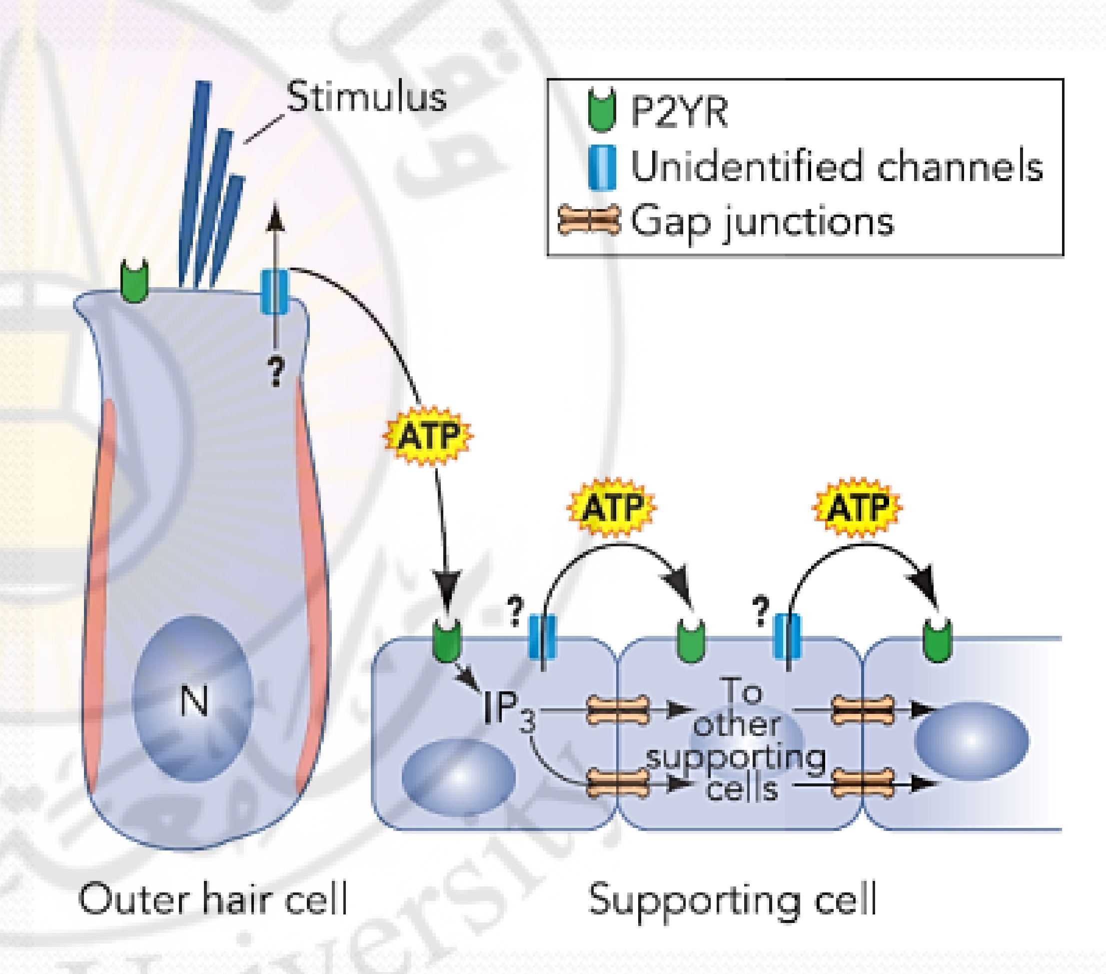
Gap-Junction Networks in the Cochlea

- **Diagram of the cochlea cellular systems showing the gap-junction networks. Deiter cells (green) and supporting**



P2R expression in hair cells

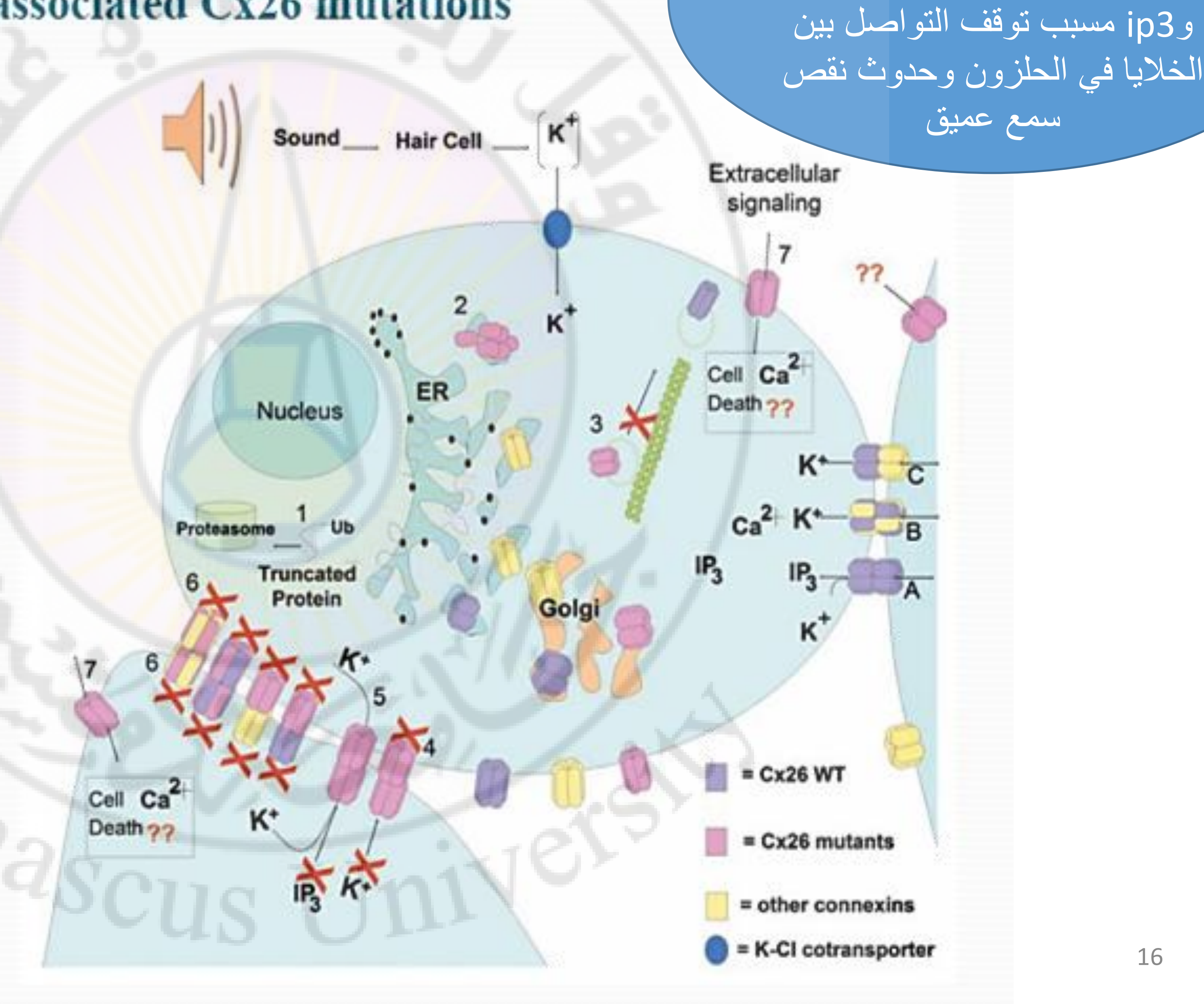
- *P2YR are associated with release of Ca2+ from intracellular stores [endoplasmic* reticulum (ER) or Hensen's body], whereas P2XR are localized on the stereocilia of the hair cells, in proximity of the MET channels, as well as in the apical cell surface.
- Extracellular signaling by nucleotides has long been associated with sensory systems, where ATP acts as a co-transmitter and/or neuromodulator.
- In both **endolymphatic and perilymphatic compartments**, basal level of extracellular ATP is maintained in the **low nanomolar range by the action of ectonucleotidases.**



Pathogenic mechanism of deafness-associated Cx26 mutations

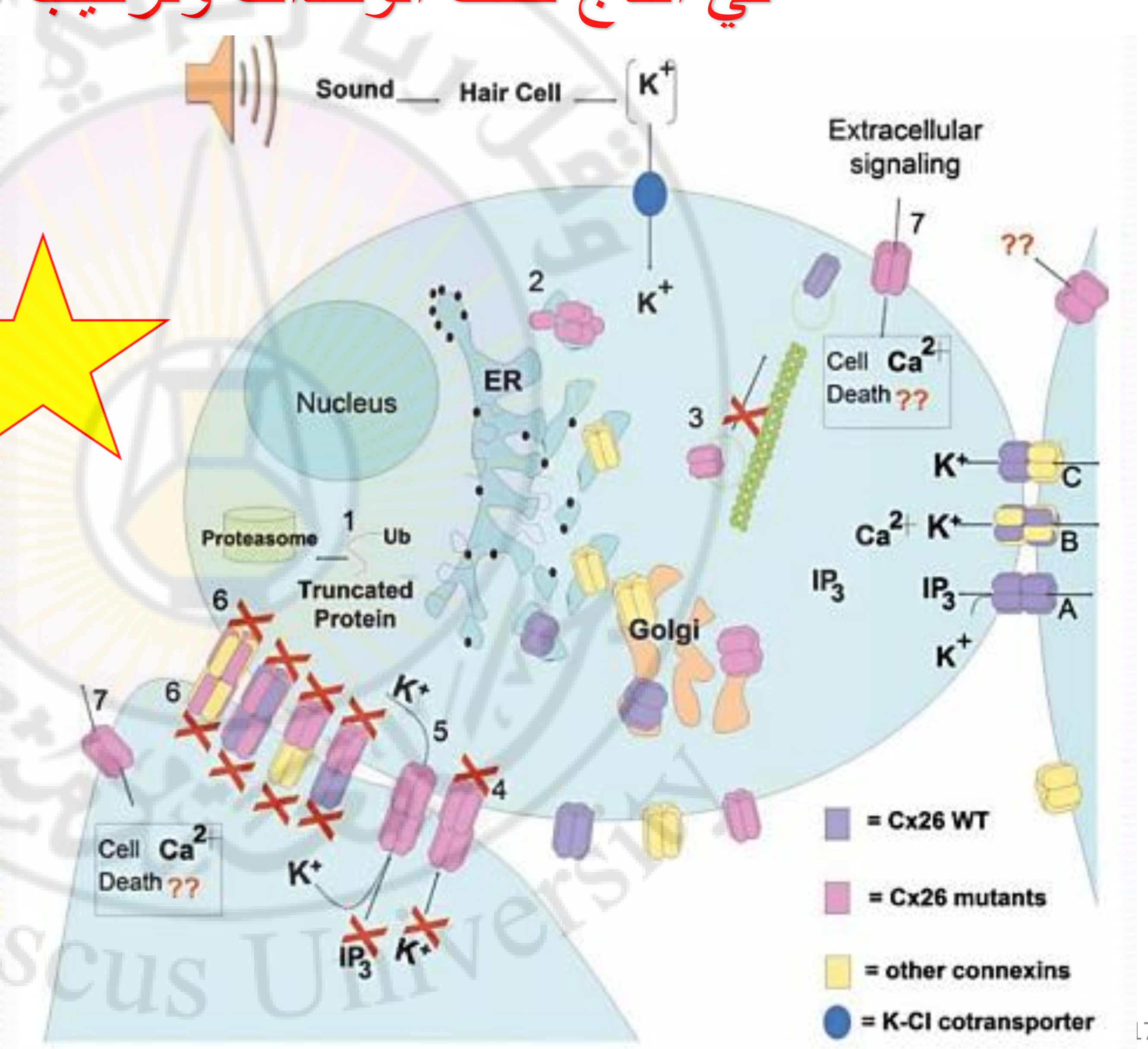
وجود نماذج غير متجانسة من الكونكسين 26 يؤدي إلى اضطراب نفوذة المعابر ل K وip3 مسبب توقف التواصل بين الخلايا في الحلزون وحدوث نقص سمع عميق

- Wild-type connexins oligomerize in the ER/Golgi.
- Hemichannels traffic to plasma membrane through the secretory pathway by a cytoskeletal-dependent mechanism.
- Epithelial and supporting cells in the cochlea express both Cx26 and Cx30. (A) Cx26 homomeric GJCh are permeable to ions, like K, and bigger molecules, like IP3.
- Cx30 homomeric GJCh have high permeability to K but lower permeability
- to IP3. (B) Heteromeric Cx26–Cx30 GJCh. (C) Heterotypic channels. Deafness-associated Cx26 mutations may produce.



تتفاوت درجة نقص السمع حسب درجة الشذوذ
في انتاج تحت الوحدات وتركيب الاتصالات الفجوية

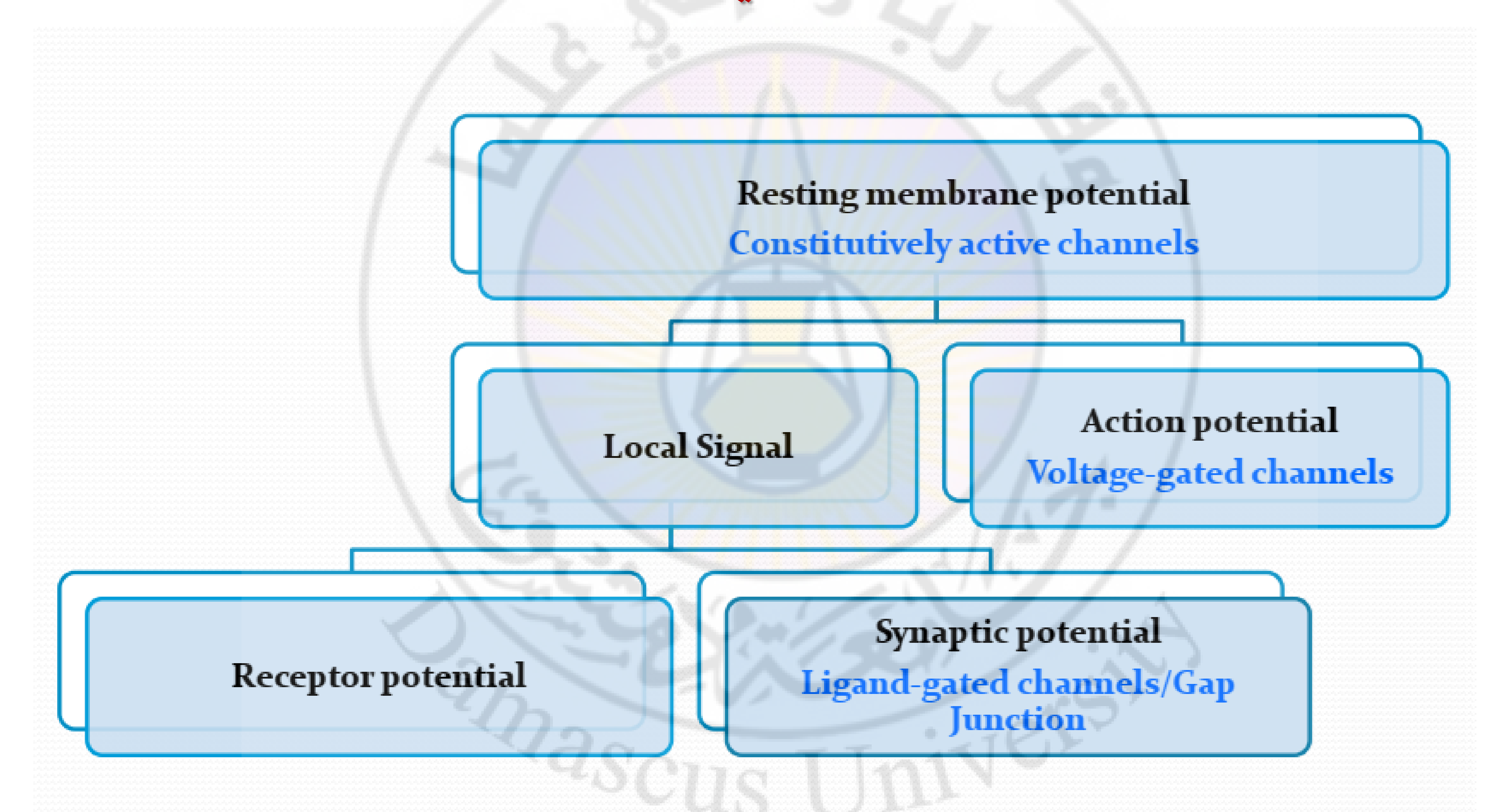
- 1. **Truncated** protein connexin subunits;
- 2. **Oligomerization defects** impeding the assembly of hemichannels;
- 3. **Defective trafficking** of the hemichannels, impeding targeting to the plasma membrana;
- 4. **Nonfunctional channels;** normal trafficking and assembly into the plasma membrane and gap-junction plaque formation, but the GJCh are closed or their pore structure severely affected, impeding the diffusion of ions and small metabolites;
- 5. **Functional** channels permeable to ions but with reduced permeability to bigger molecules like IP3, affecting propagation of calcium waves or other metabolites;





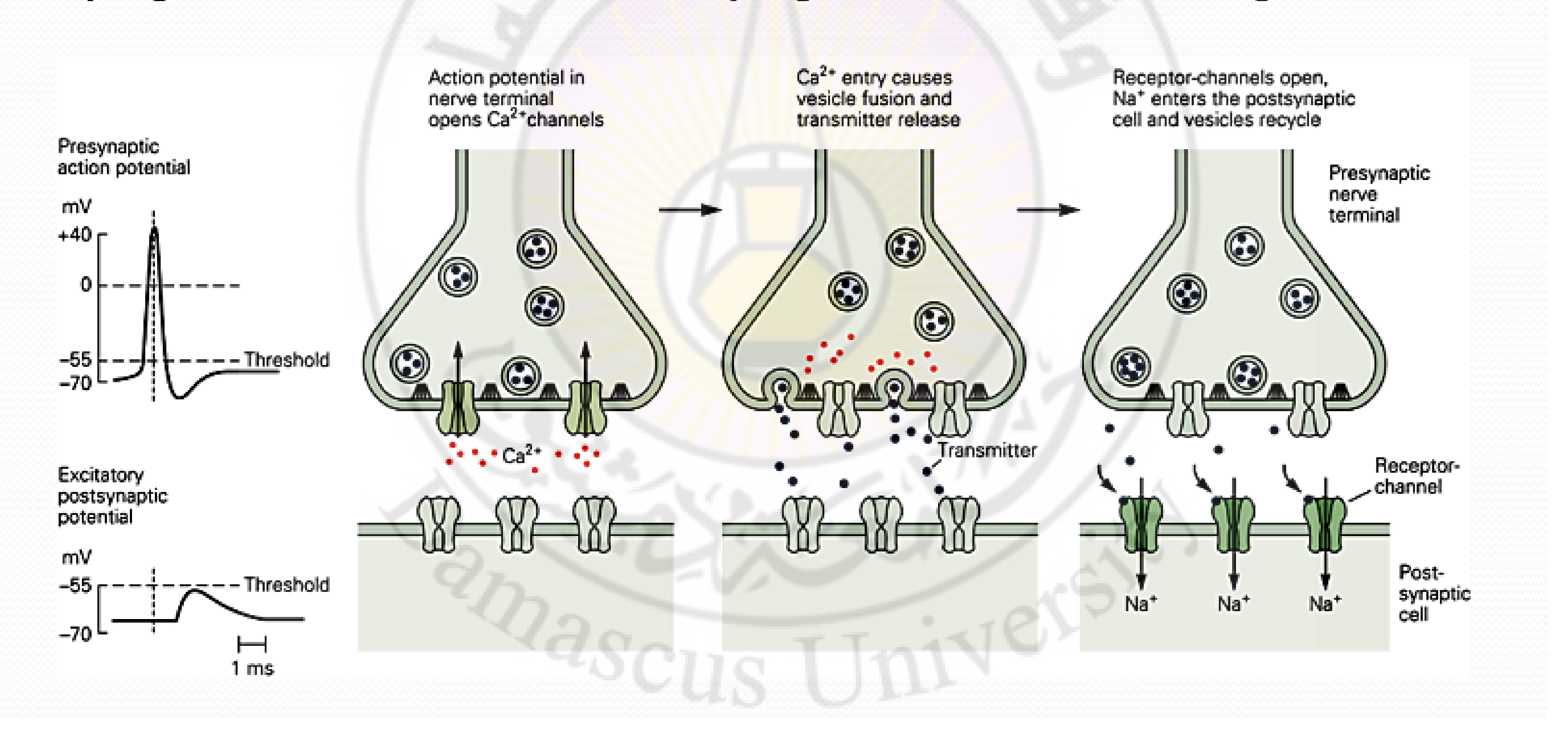
- 6. **Mutant Cx26 that can act as dominant** negative of co-expressed wild-type connexins. Mutant Cx26 can oligomerize with wild-type connexins, producing nonfunctional heteromeric channels. Heterotypic combination between mutant Cx26 hemichannel and wild-type hemichannels can also lead to nonfunctional channels;
- 7. **Aberrant functionality of free hemichannels in the plasma membrane, allowing** an increase in plasma-membrane permeability that may lead to cell death due to either loss of important intracellular metabolites (like ATP or NAD), or increase intracellular calcium concentration.

الحوادث الكهربائية في المشابك العصبية



آلية عمل المشابك الكيميائية/ الكمون ماقبل مشبكي ومابعد مشبكي

- Synaptic transmission at chemical synapses involves several steps.



التجمع المكاني Spatial Summation والتجمع الزماني Temporal Summation في المشابك العصبية

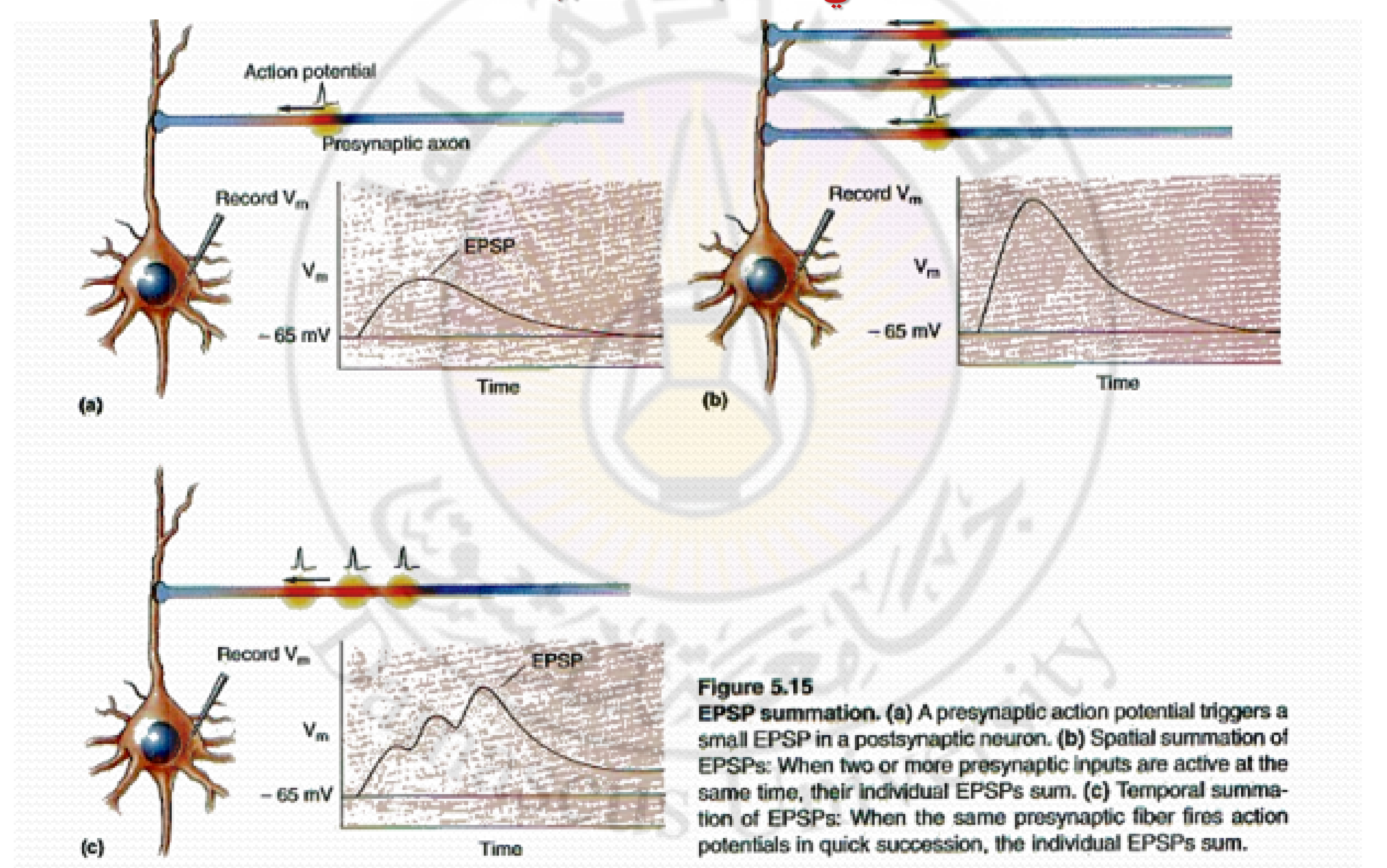
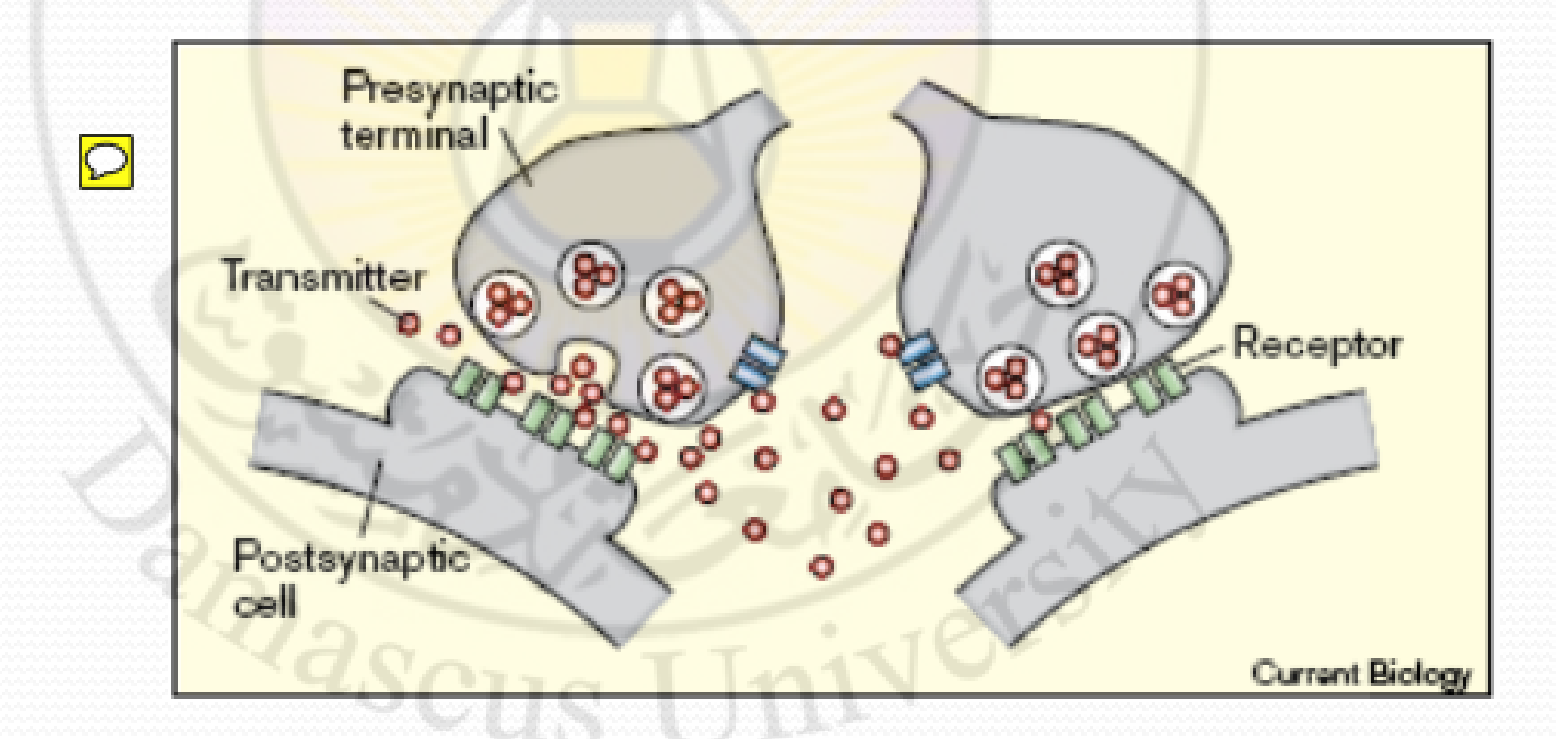


Figure 5.15
EPSP summation. (a) A presynaptic action potential triggers a small EPSP in a postsynaptic neuron. (b) Spatial summation of EPSPs: When two or more presynaptic inputs are active at the same time, their individual EPSPs sum. (c) Temporal summation of EPSPs: When the same presynaptic fiber fires action potentials in quick succession, the individual EPSPs sum.

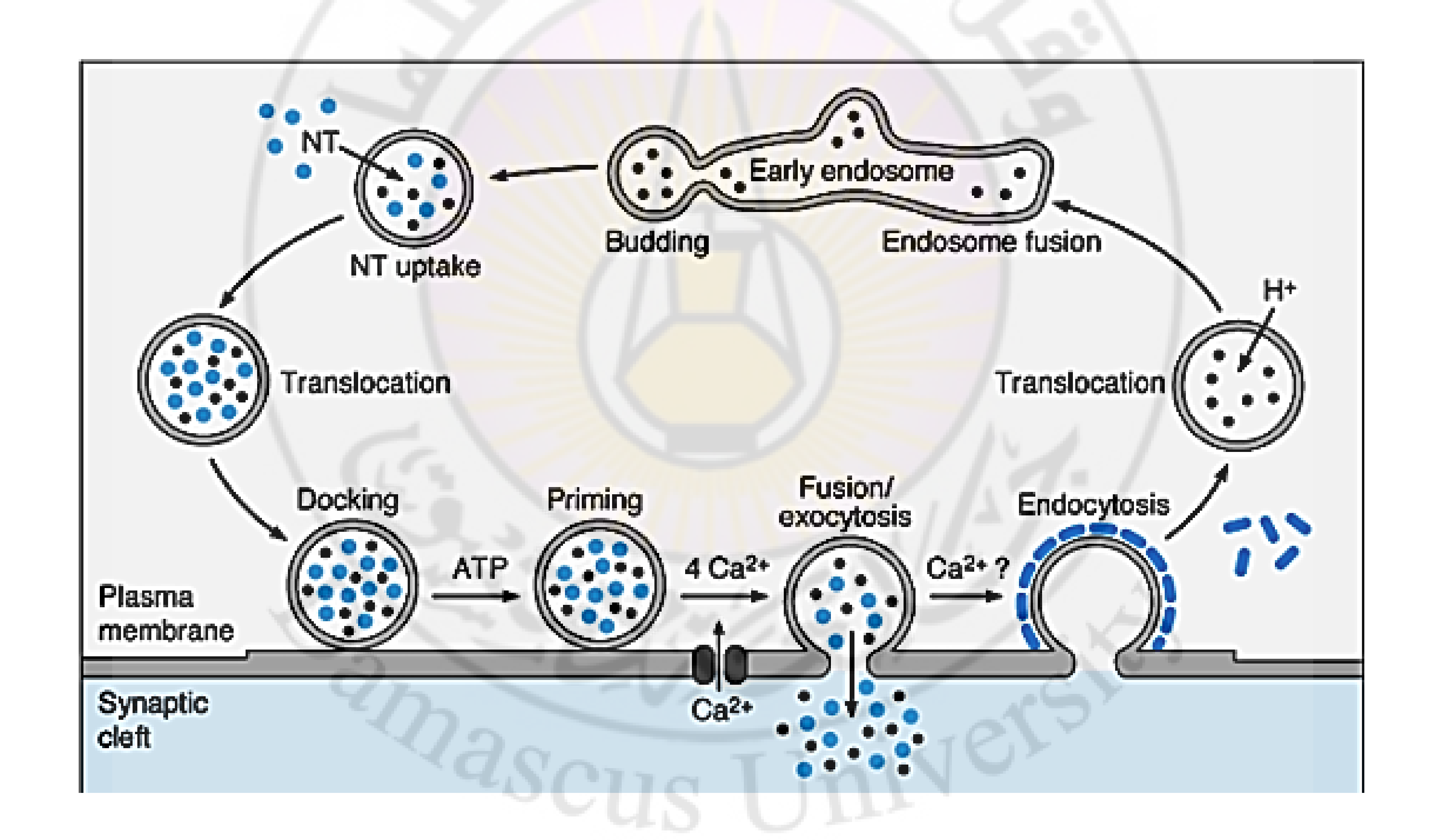


Spillover Phenomena

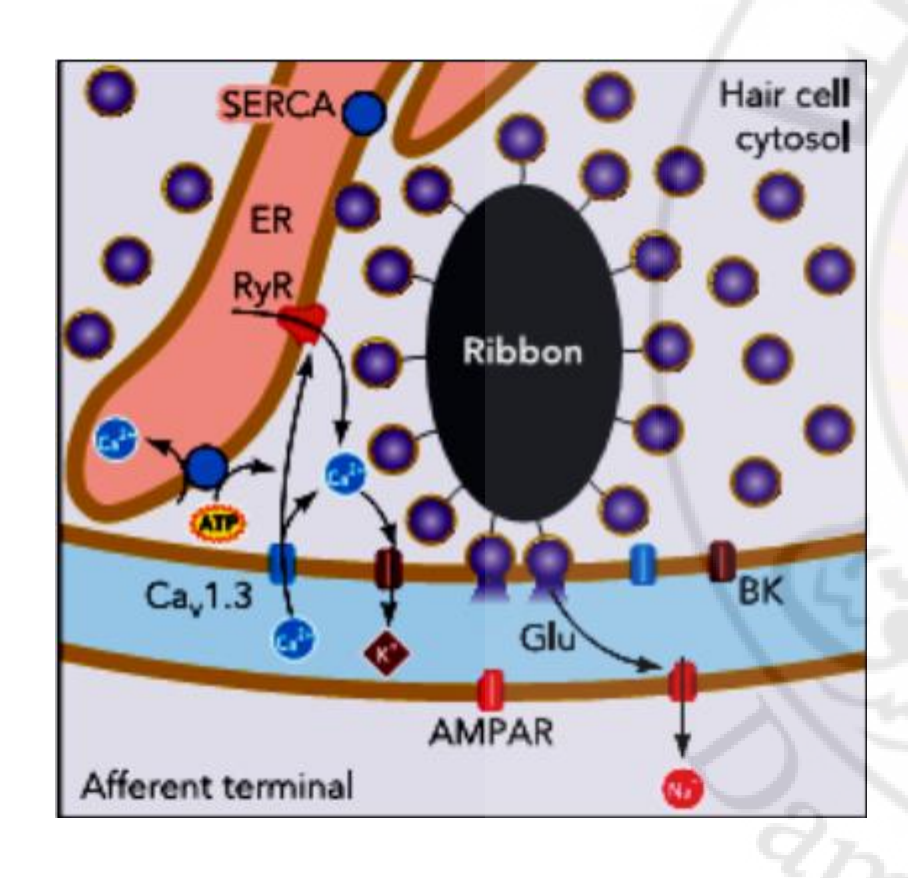
- It was thought that transmitter released at a synapse affected only a specific postsynaptic cell.
- Spillover of a transmitter produces significant cross-talk to non-postsynaptic cells.



مراحل تحرر النواقل العصبية من الحويصلات المشبكية



نموذج مشابك الريبون Ribbon في الخلايا المشعرة في الحلزوم



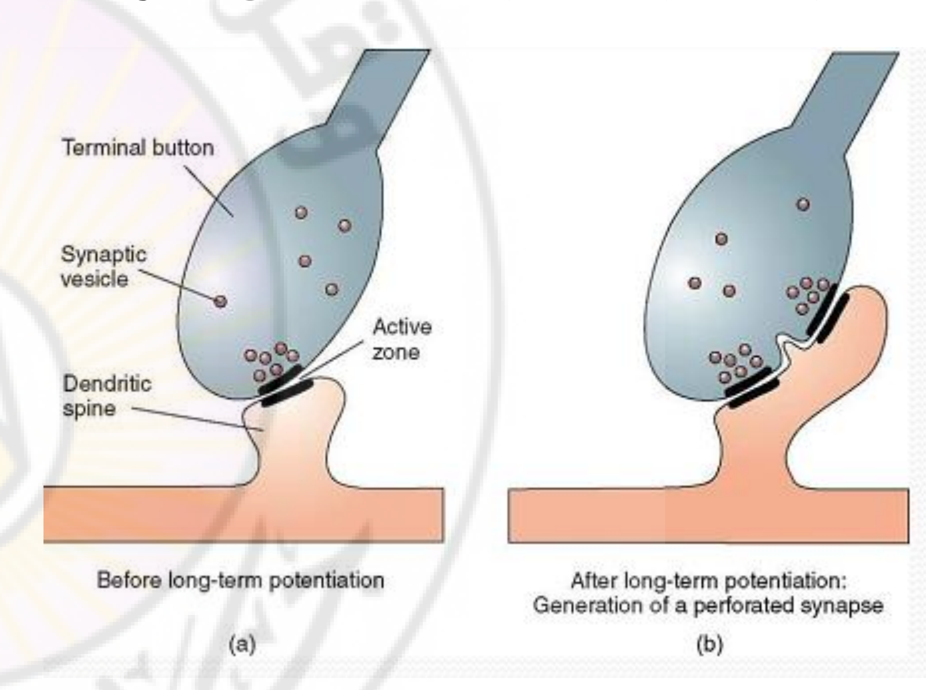
- تكمن اهمية هذا النموذج في تامين عدد كبير من الحويصلات الجاهزة لإطلاق الغلوتامات في الفضاء المشبكي حيث تكون متجمعة قرب الغشاء ماقبل المشبكي ومرتبطة بجسيم الريبون وبالتالي حدوث تفعيل سريع للغشاء مابعد المشبكي وإطلاق كمون عمل ينتشر على طول السبيل السمعي.
- لهذا النموذج من المشابك دور هام في تأمين نقل الاستشارة السمعية بمستويات منخفضة حول العتبة مما يؤمن الدقة والسرعة في ترميز الاشارة السمعية.

مرونة المشابك Synaptic Plasticity

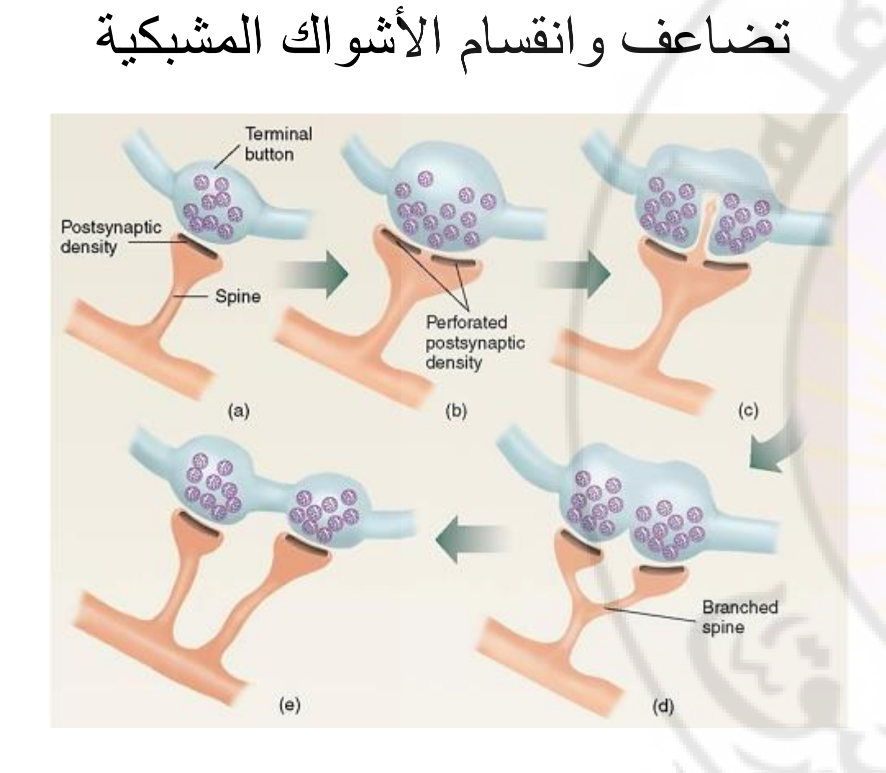
- هو مصطلح يطلق على المرونة والمطاوعة في إعادة التصنيع المشبكي استجابة للتكيف مع الظروف والتعلم والذاكرة.
- إن التعلم فزيولوجيا ونسيجيا يتم من خلال تشكل المزيد من المشابك والاتصالات العصبية التي تقوم بتأمين وظيفة محددة تم تعلمها من التجربة والتكرار (التنبيه المتكرر لاداء رسالة معينة).
- إن أي سلوك جديد أو تبدل في السلوك هو انعكاس لتبدّل في عدد وقوة وطبيعة المشابك العصبية.
- المرونة العصبية متمثلة بالمرونة المشبكية هي القدرة أو السعة Capacity الكافية لإحداث تبدّلات في الاتصالات المشبكية بين العصبونات.
- عادة تستغرق مراحل تشكل مشابك جديدة وحدوث التعلم والتكيف العصبي من 3-6 أشهر وهي الفترة التي تعطى عادة كمهلة لحدوث التكيف والتعود بعد تغير الظروف السمعية للشخص كتركيب معينة سمعية أوزرع الحلزون أو البدء بعلاج الطنين وغيرها.

نماذج النمو والتصنيع المشبكي

تشكيل أفضية مشبكية جديدة لنفس الشوكة



تضاعف وانقسام الأشواك المشبكية





أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 3

Synapses

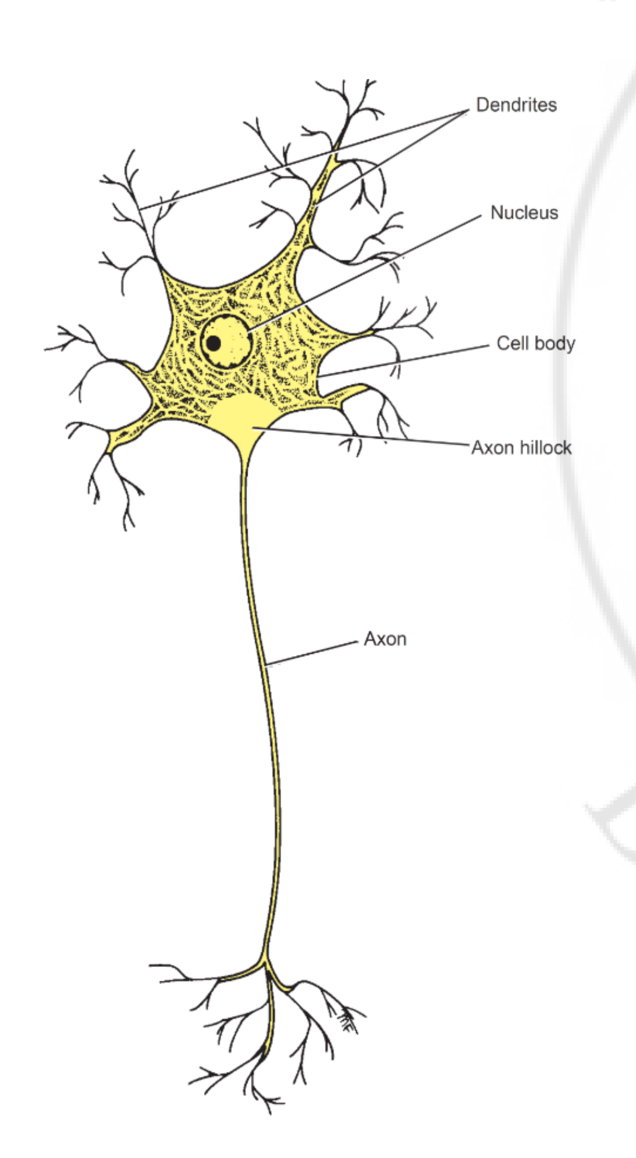
Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

April 2023

المشابك Synapses

- المشابك العصبية: Neural synapse هي أماكن من جسم الخلية أو نتوءاتها (استطالاتها),حيث تقوم نواقل كيميائية (هي النواقل العصبية) بنقل السيالة (الدفعة العصبية) من عصبون إلى آخر, أو من عصبون إلى خلية أخرى خارج الجهاز العصبي (عضليَّةٍ مثلاً كالوصل العصبي العضلي).
- بعض الوسائط العصبية (النواقل العصبية) Neurotransmitters تقليديٌّ classic، مثل الأستيل كولين والنورأدرينالين. و بعضها عُرِف حديثاً، مثل أحاديات الأمين Monoamines, الحموض الأمينية Amino Acids, أُكسيد النتريك Nitric Oxide, والببتيدات العصبية Neuropeptides.
- للمشابك دور أساسي في نقل الإشارة العصبية (تنبيه حسي – حركي – ذاتي) من الجهاز العصبي المحيطي إلى المركزي وبالعكس ومن وإلى الأعضاء المنفذة للتنبيه والجهاز العصبي المركزي.
- للمشابك أنواع وأشكال عديدة تختلف باختلاف الوظيفة المنوطة بها.
- تشكل كمون ماقبل مشبكي نتيجة التحفيز العصبي هو أساس تحرر النواقل العصبية وتنبيه الغشاء مابعد المشبكي لنقل الإشارة.

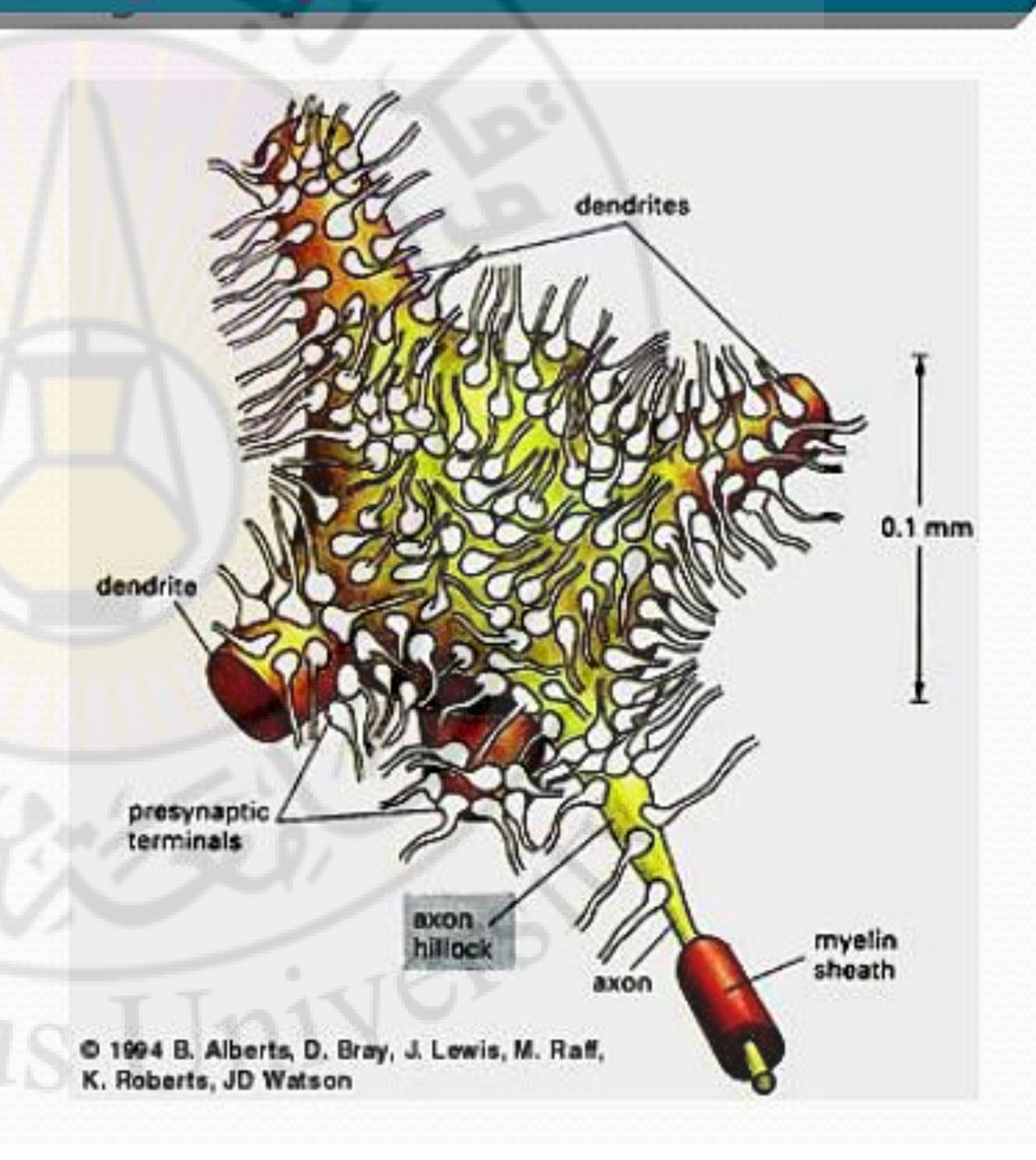
لمحة نسيجية عن الجهاز العصبي



- النسيج العصبي Neural Tissue
- العَصَبونات (الخلايا العصبية) Neurons والخلايا الدبقية Neuroglia (Glial Cells).
- العَصَبون (الخلية العصبية) Neuron
  - جسم الخلية Cell Body (Soma)
  - النواتئ العصبونية Neuron processes:
    - الاستطالات الهيولية (التغصنات) Dendrites.
    - المحور Axon.

The point at which two neurons communicate is known as a Synapse

- Axodendritic (Dendritic spin)
- Axosomatic
- Axo-axonal (axon to axon),
- Dendrodendritic (dendrite to dendrite) bern2008
- Dendrosomatic (dendrite to soma)



Different type of synapses

Dendrodendritic

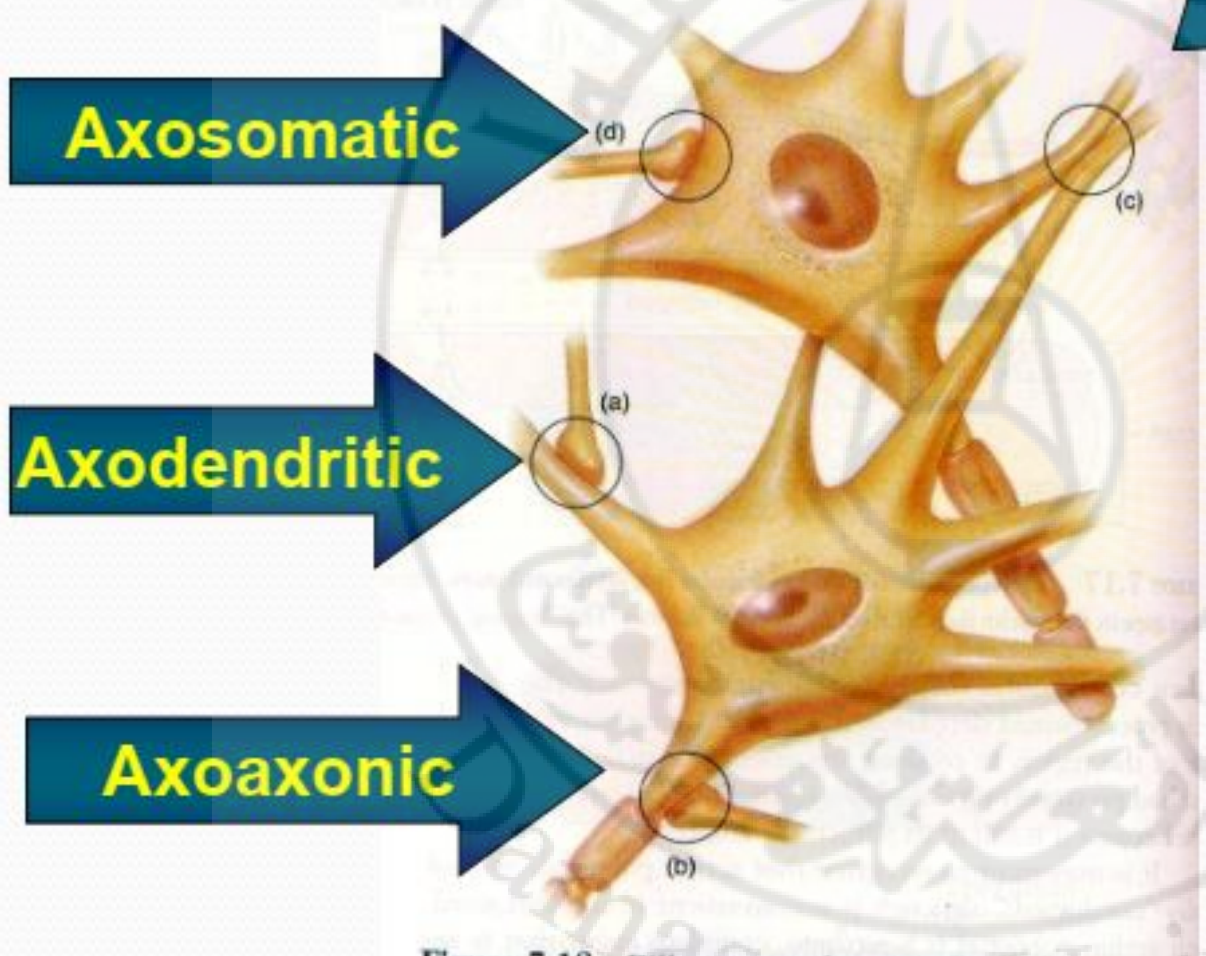
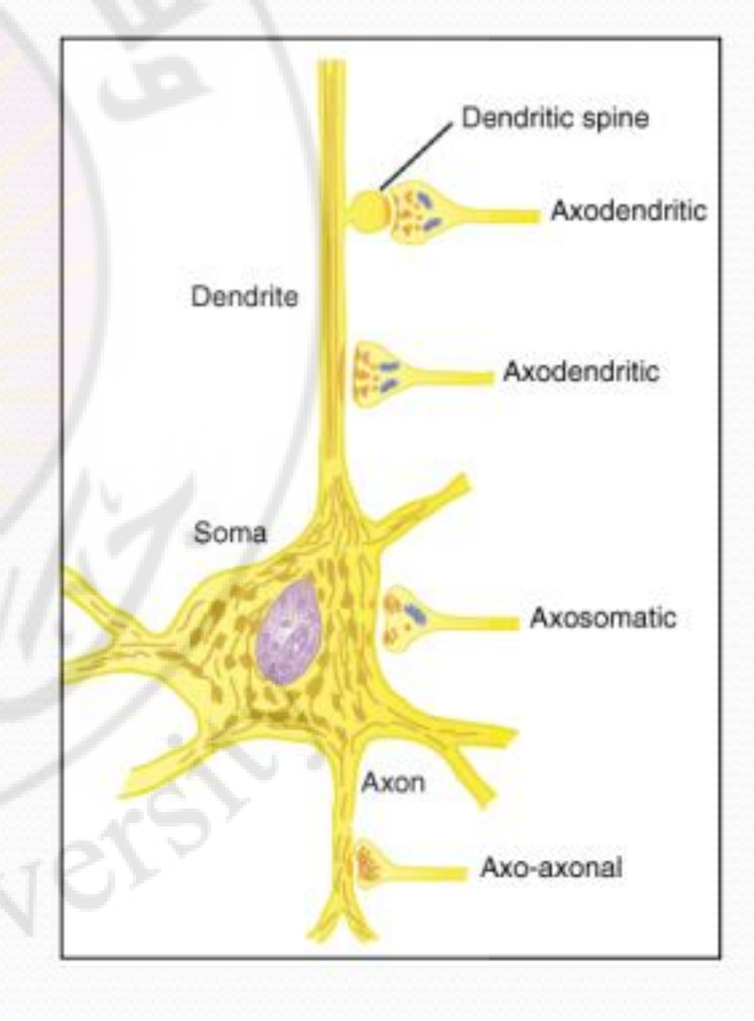
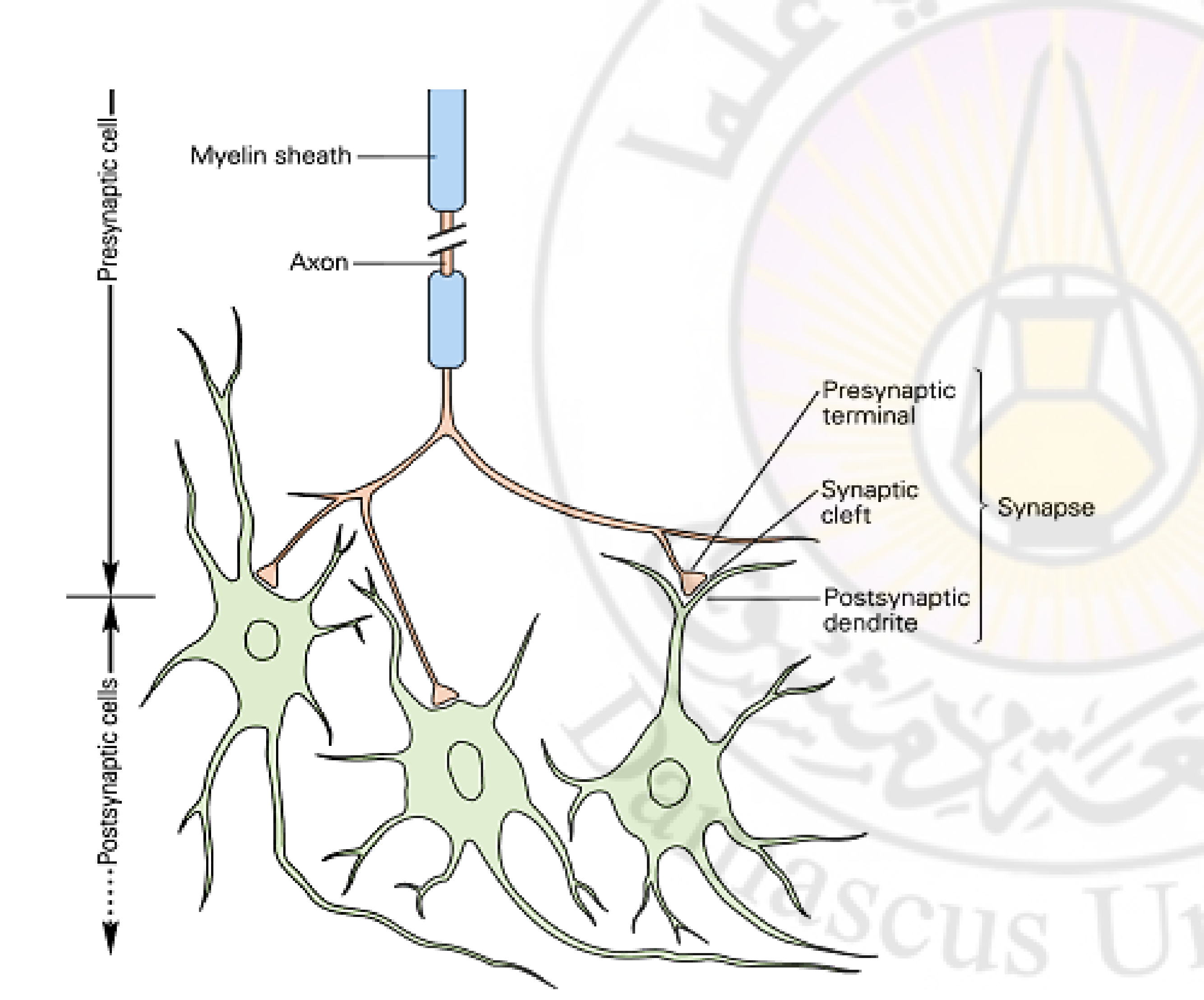


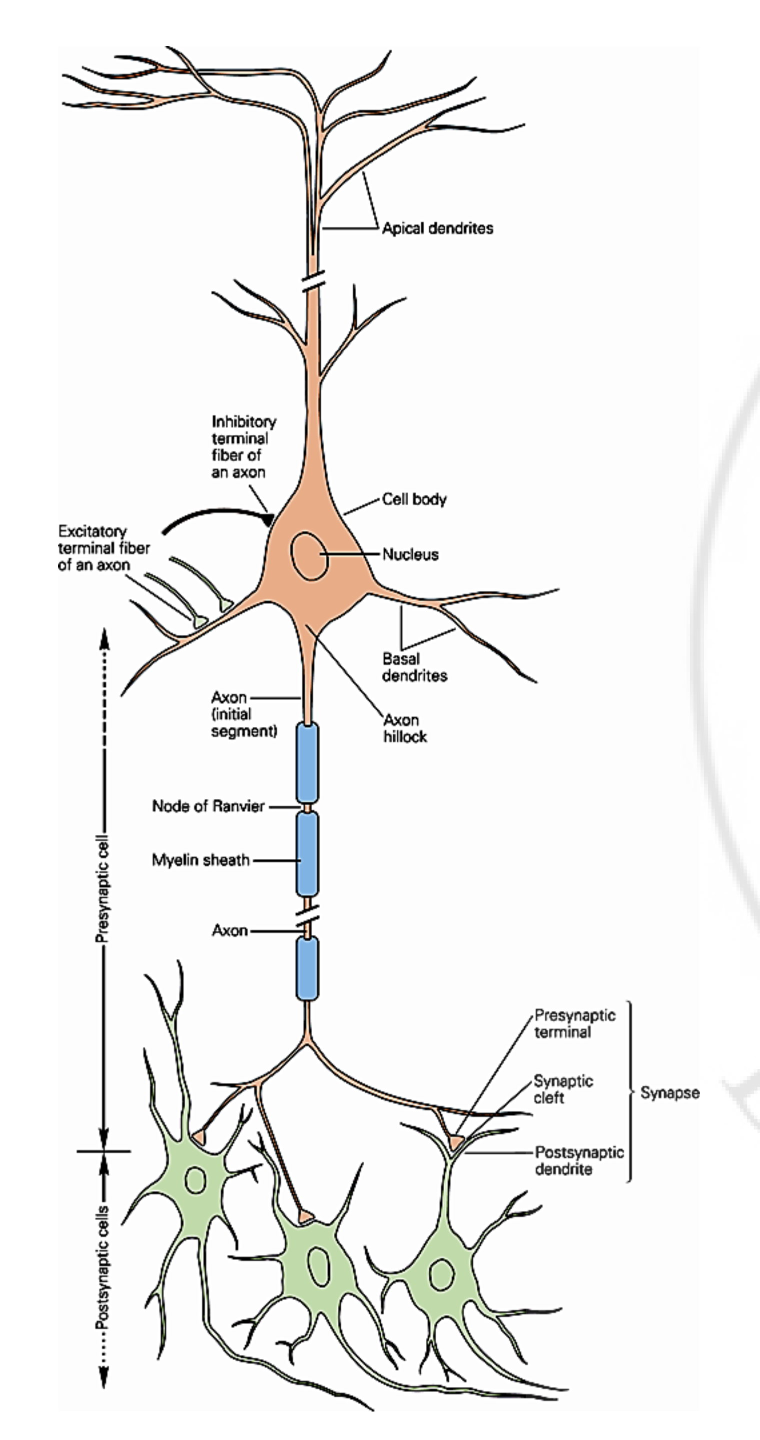
Figure 7.18 **Different types of synapses.** Depicted here are (*a*) axodendritic, (*b*) axoaxonic, (*c*) dendrodendritic, and (*d*) axosomatic synapses.



المشابك العصبية



- يمكن لتغصنات محور العصبون أن تؤمن اتصالات مشبكية مع اكثر من 1000 خلية عصبية أخرى.
- تعتبر المحاور الجزء المصدر من العصبون Output element بينما تعتبر التغصنات Dendrites الجزء المستقبل من العصبون Input element وتستطيع التغصنات مع جسم العصبون استقبال الكثير من الإشارات العصبية من خلال العديد من المشابك بينها وبين عصبونات أخرى.

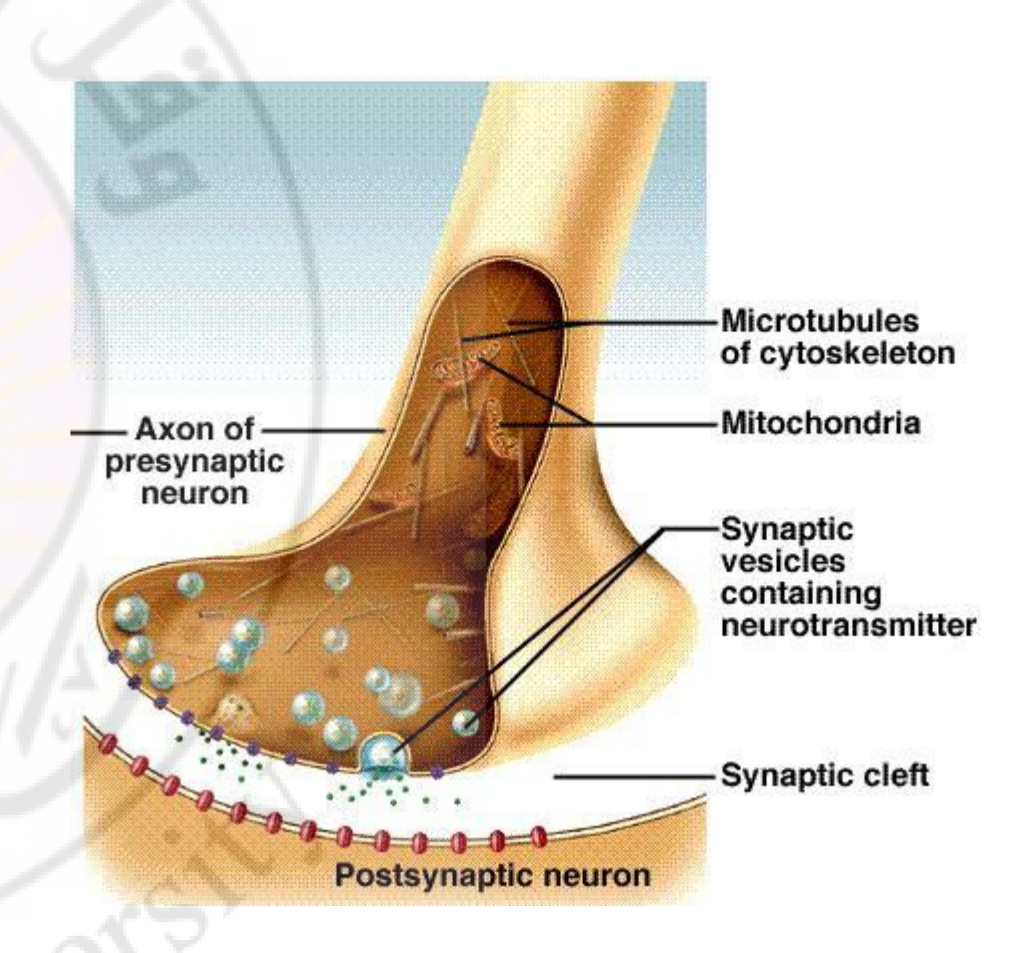


وظيفة المشابك

- يتشكل الكمون ماقبل المشبكي Presynaptic Potential عند تنبيه العصبون ماقبل مشبكي مما يسبب تحرر النواقل العصبية في الفضاء المشبكي وارتباطها بمستقبلاتها على الغشاء مابعد المشبكي مسببة أحداث كهربائية تشكل مايسمى الكمون مابعد مشبكي Postsynaptic Potential والذي بدوره يتجمع زمانيا بالتنبيه المتكرر ليصل إلى عتبة استثارة العصب مطلقا كمون عمل ينتشر على طول العصبون مابعد مشبكي.
- تكون الإشارة المنتقلة عبر المشبك تحفيزية او تثبيطية حسب نوع النواقل والمستقبلات الموجودة على الغشاء مابعد المشبكي.

النقل المشبكي Synaptic Transmission

- يعتبر النقل المشبكي أساسي للوظائف العصبية كالإدارك والحركة والتنظيم العصبي والتعلم والذاكرة.
- تظهر أهمية المشابك من حجم الاتصالات التي تستطيع خليه عصبية واحدة انشاءها وتتراوح بين 1000 إلى 10000 مشبك.
- هناك شكلين أساسيين للمشابك العصبية وتتعلق بآلية النقل العصبي فيها وهي الكهربائية والكيميائية.
- تسمى المنطقة من الغشاء ماقبل المشبكي والمقابلة للغشاء بعد المشبكي بالمنطقة الفعالة Active Zone وتسمى المسافة بين الغشاء بالشق المشبكي Synaptic Cleft.
- تكون المنطقة الفعالة غنية بالحويصلات المشبكية التي تحوي النواقل العصبية وبعضها يكون بمرحلة الالتصاق ومستعد لتحرير النواقل كما تكون غنية أيضا بقنوات الكالسيوم الفولتاجية.



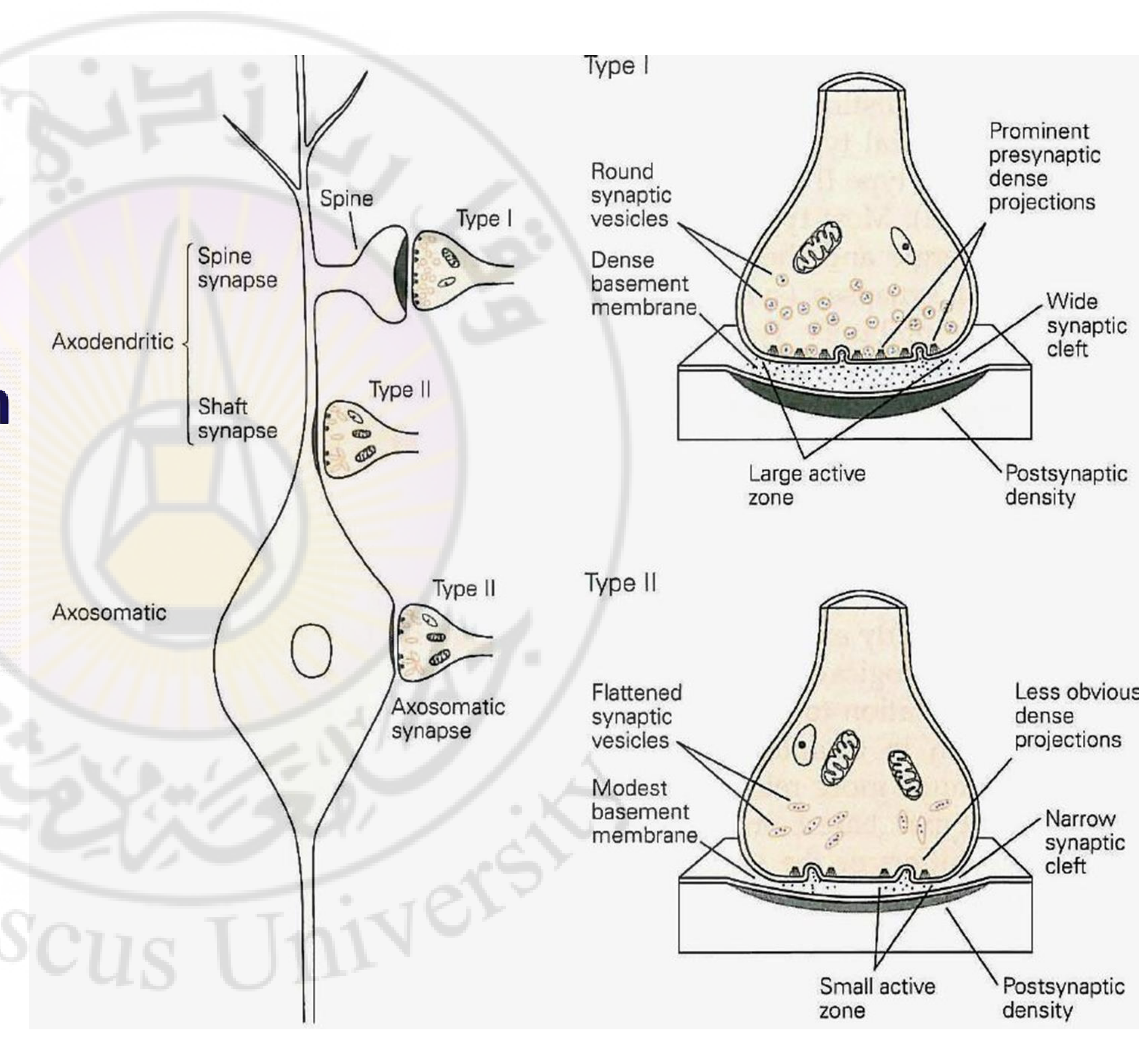
العصبونات المحفزة والعصبونات المثبطة

- تختلف وظيفة العصبون باختلاف المشبك الذي يشكله فقد يكون تحفيزي excitatory وقد يكون تثبيطي Inhibitory.
- من الناحية المورفولوجية تم توصيف شكلين من المشابك في الجهاز السمعي: Gray I, Gray II.
- في النمط الأول يكون الغلوتامات هو المكون الأساسي في الحويصلات المشبكية وهذه المشابك تكون تحفيزية وتكون هذه الحويصلات ضخمة ومكتظة.
- في حين يشكل الغابا GABA المكون الأساسي في النمط الثاني والذي يختص بالمشابك التثبيطية.
- هناك فرق مورفولوجي آخر وهو تواجد مناطق كثيفة الكترونيا Electron-dense region على الغشاء ماقبل المشبكي يقابلها كثافات فعالة على الغشاء مابعد المشبكي Postsynaptic density وتميز المشابك التحفيزية.
- في المشابك المثبطة تكون الحويصلات مسطحة او بيضوية والكثافات ماقبل المشبكية أقل وضوحا.

Synaptic Transmission

Is either **Electrical** or **Chemical** in Nature

Is **Excitatory** or **Inhibitory**



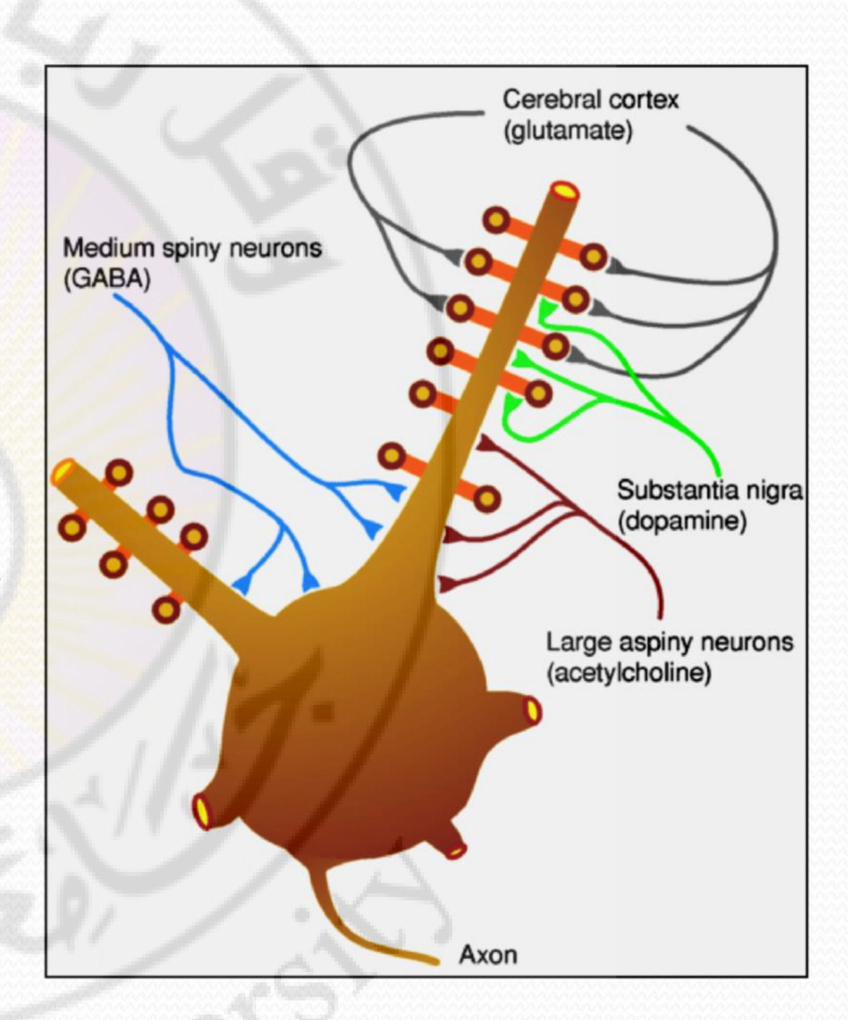
Spine

- Spines are membranous protrusions from the neuronal surface.

- They consist of a **head** (volume ~ 0.001–1 µ3) connected to the neuron by a thin (diameter <0.1 µm) spine **neck.**

- They may arise from the **soma**, **dendrites**, or even the **axon hillock**, and they are found in various neuronal populations in all vertebrates and some invertebrates.
- Human brain thus contains **$>10^{13}$ spines**.

- Spines are highly specialized compartments for rapid large-amplitude Ca2+ signals underlying the induction of synaptic plasticity.



خصائص المشابك الكهربائية

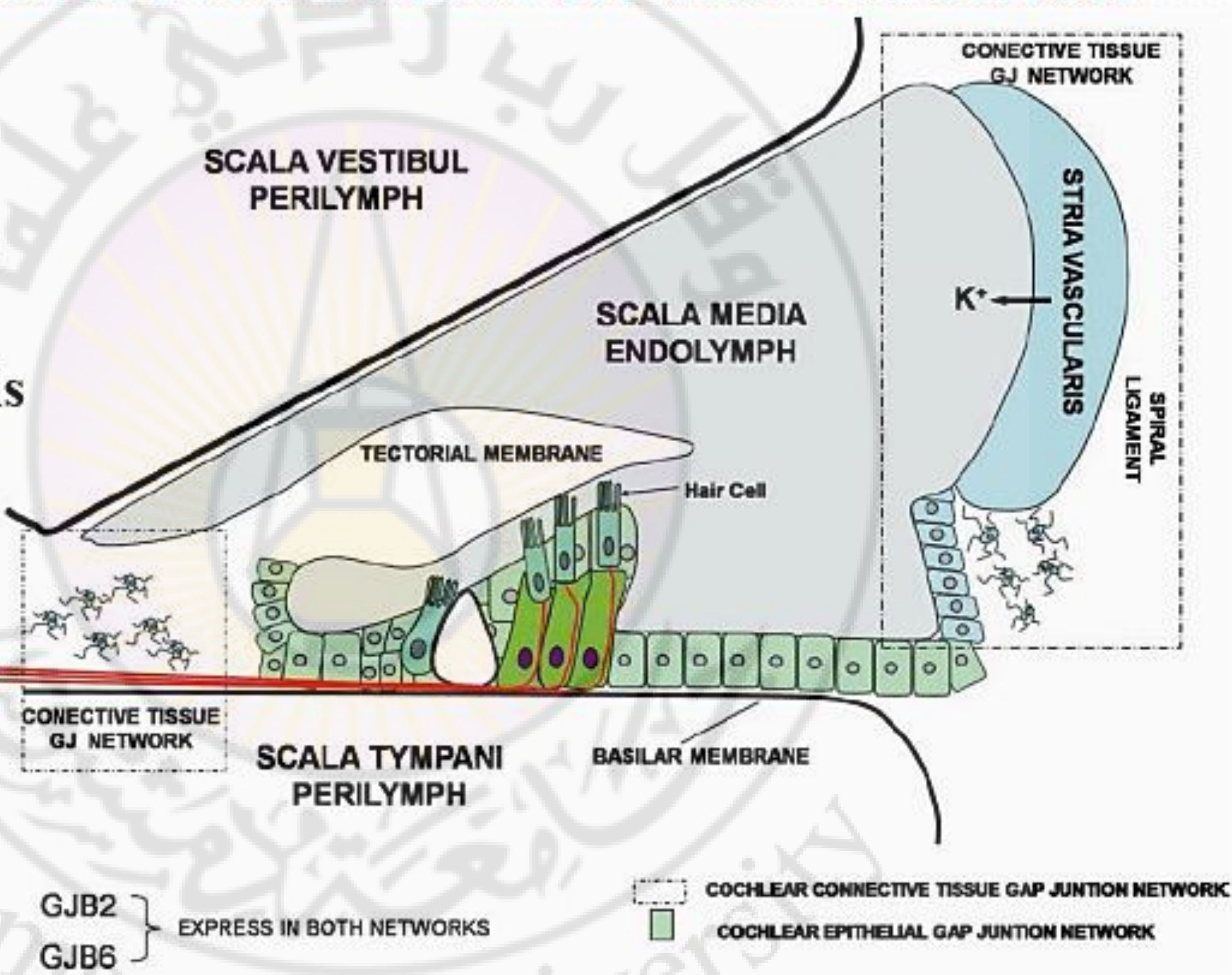
- المشابك الكهربائية سريعة جدا بحيث تؤمن الاستجابة اللازمة في الوقت المناسب.
- النقل الكهربائي ضروري لتنسيق استجابة عدد كبير من الألياف العصبية بشكل متزامن (التجمع الحجمي Spatial Summation) بحيث تحقق استجابة كبيرة تنتقل إلى العضو الهدف دون ضياع.
- في الجهاز العصبي السمعي يعتبر وجود المشابك الكهربائية والاتصالات الفجوية أساسيا في نقل المعلومة السمعية على مستوى العصب السمعي وجذع الدماغ محققة الدقة التواترية والزمنية Spectral discrimination, temporal resolution والتي تعتبر أساسية لترميز الكلام.
- أهم النواقل الفعالة التي تعبر الاتصالات الفجوية في الحلزون هي ال IP3، ال ATP ، وشاردة البتاسيوم للحفاظ على الكمون داخل الحلزوني Endocochlear Potential.

Distinguishing Properties of Electrical and Chemical Synapses

Type of synapse	Distance between pre- and postsynaptic cell membranes	Cytoplasmic continuity between pre- and postsynaptic cells	Ultrastructural components	Agent of transmission	Synaptic delay	Direction of transmission
Electrical	4 nm	Yes	Gap-junction channels	Ion current	Virtually absent	Usually bidirectional
Chemical	20–40 nm	No	Presynaptic vesicles and active zones; postsynaptic receptors	Chemical transmitter	Significant: at least 0.3 ms, usually 1–5 ms or longer	Unidirectional

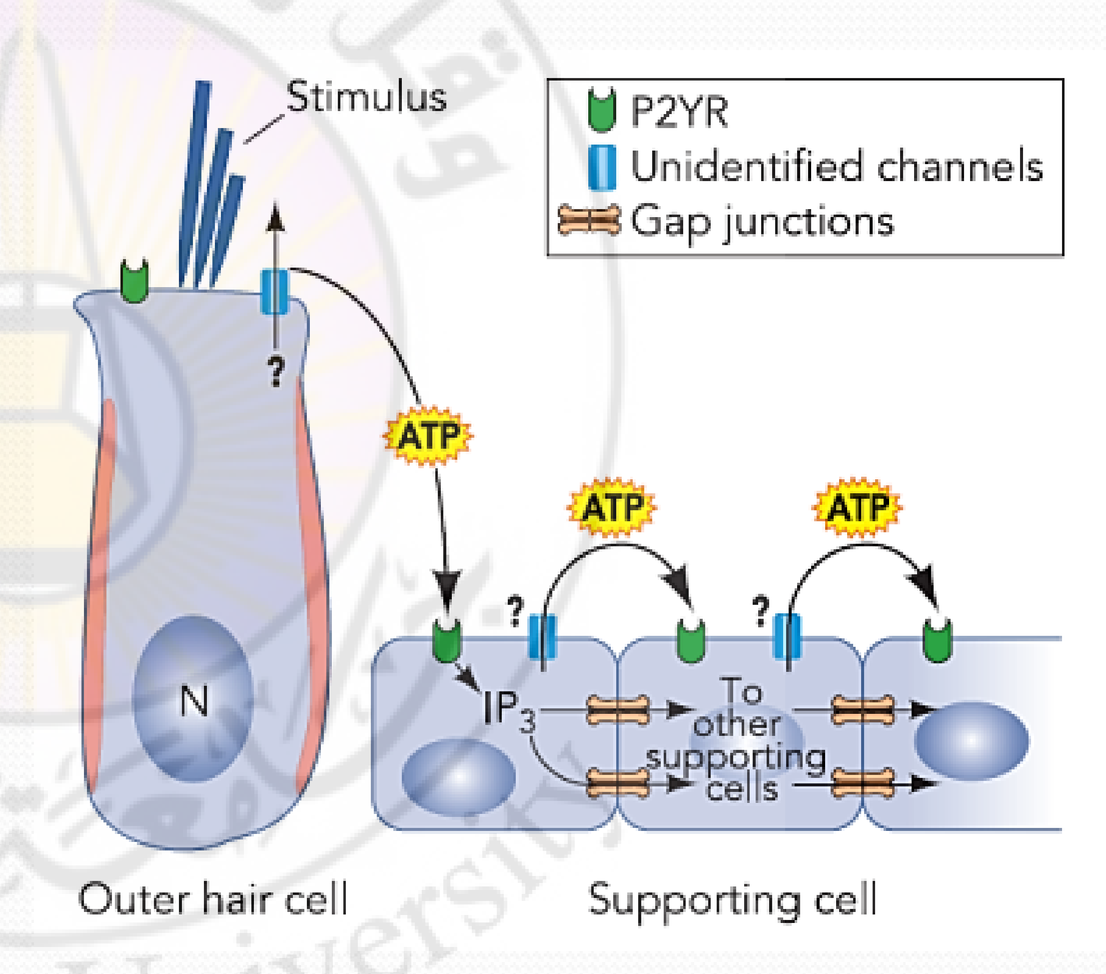
Gap-Junction Networks in the Cochlea

- **Diagram of the cochlea cellular systems showing the gap-junction networks. Deiter cells (green) and supporting**



P2R expression in hair cells

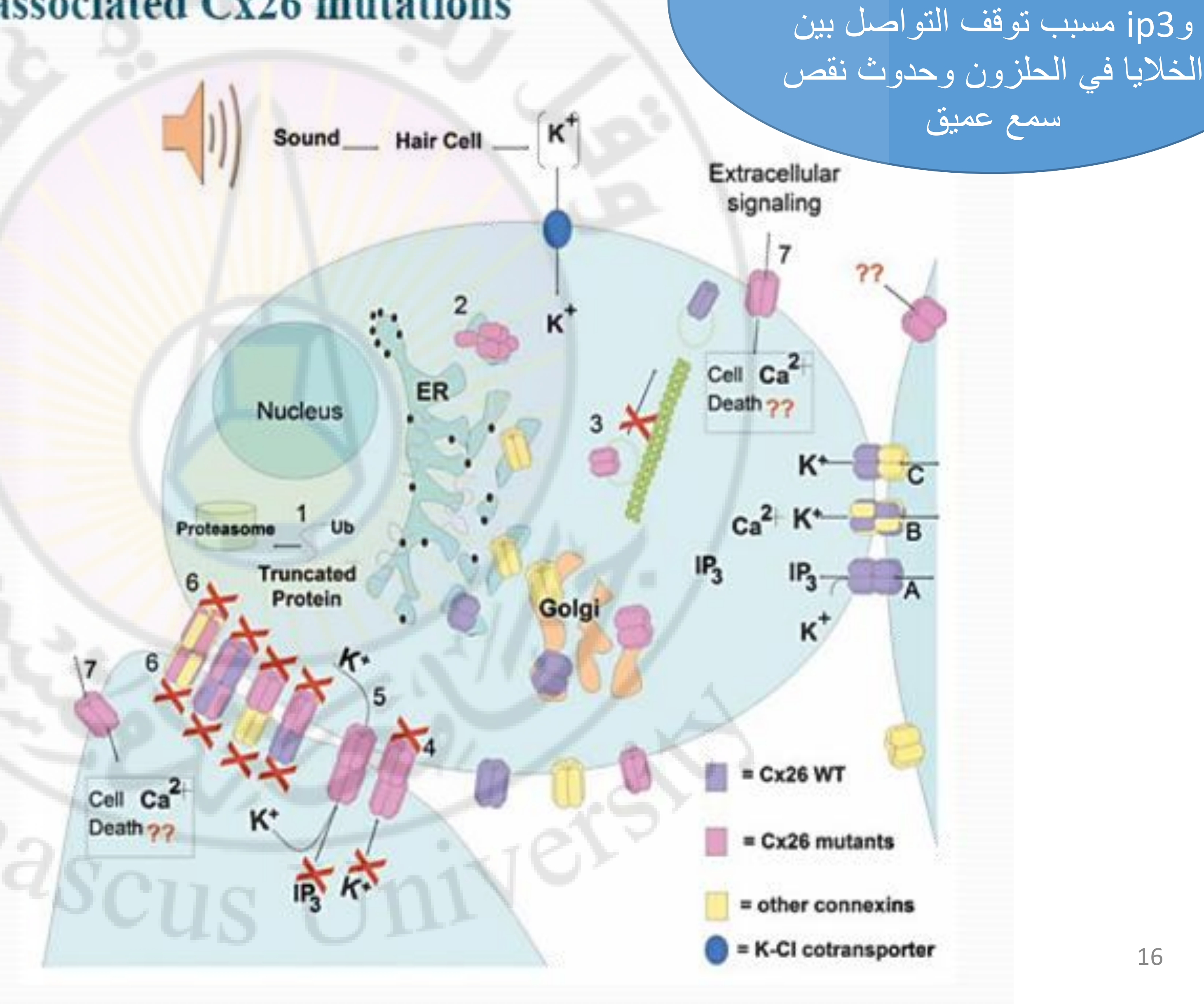
- *P2YR are associated with release of Ca2+ from intracellular stores [endoplasmic* reticulum (ER) or Hensen's body], whereas P2XR are localized on the stereocilia of the hair cells, in proximity of the MET channels, as well as in the apical cell surface.
- Extracellular signaling by nucleotides has long been associated with sensory systems, where ATP acts as a co-transmitter and/or neuromodulator.
- In both **endolymphatic and perilymphatic compartments**, basal level of extracellular ATP is maintained in the **low nanomolar range by the action of ectonucleotidases.**



Pathogenic mechanism
of deafness-associated Cx26 mutations

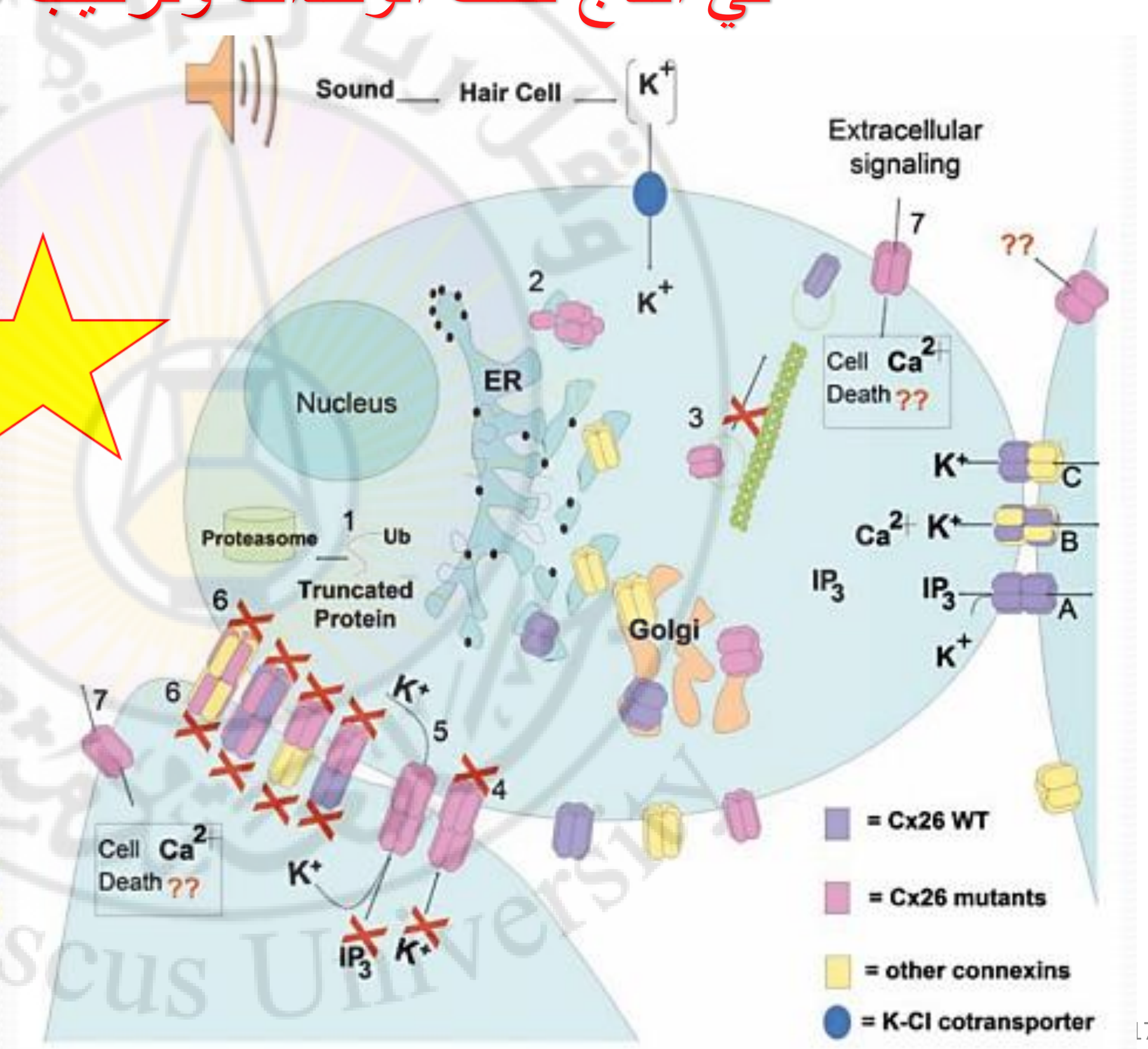
وجود نماذج غير متجانسة من
الكونكسين 26 يؤدي إلى
اضطراب نفوذة المعابر ل K
وip3 مسبب توقف التواصل بين
الخلايا في الحلزون وحدوث نقص
سمع عميق

- Wild-type connexins oligomerize in the ER/Golgi.
- Hemichannels traffic to plasma membrane through the secretory pathway by a cytoskeletal-dependent mechanism.
- Epithelial and supporting cells in the cochlea express both Cx26 and Cx30. (A) Cx26 homomeric GJCh are permeable to ions, like K, and bigger molecules, like IP3.
- Cx30 homomeric GJCh have high permeability to K but lower permeability
- to IP3. (B) Heteromeric Cx26–Cx30 GJCh. (C) Heterotypic channels. Deafness-associated Cx26 mutations may produce.



تتفاوت درجة نقص السمع حسب درجة الشذوذ في انتاج تحت الوحدات وتركيب الاتصالات الفجوية

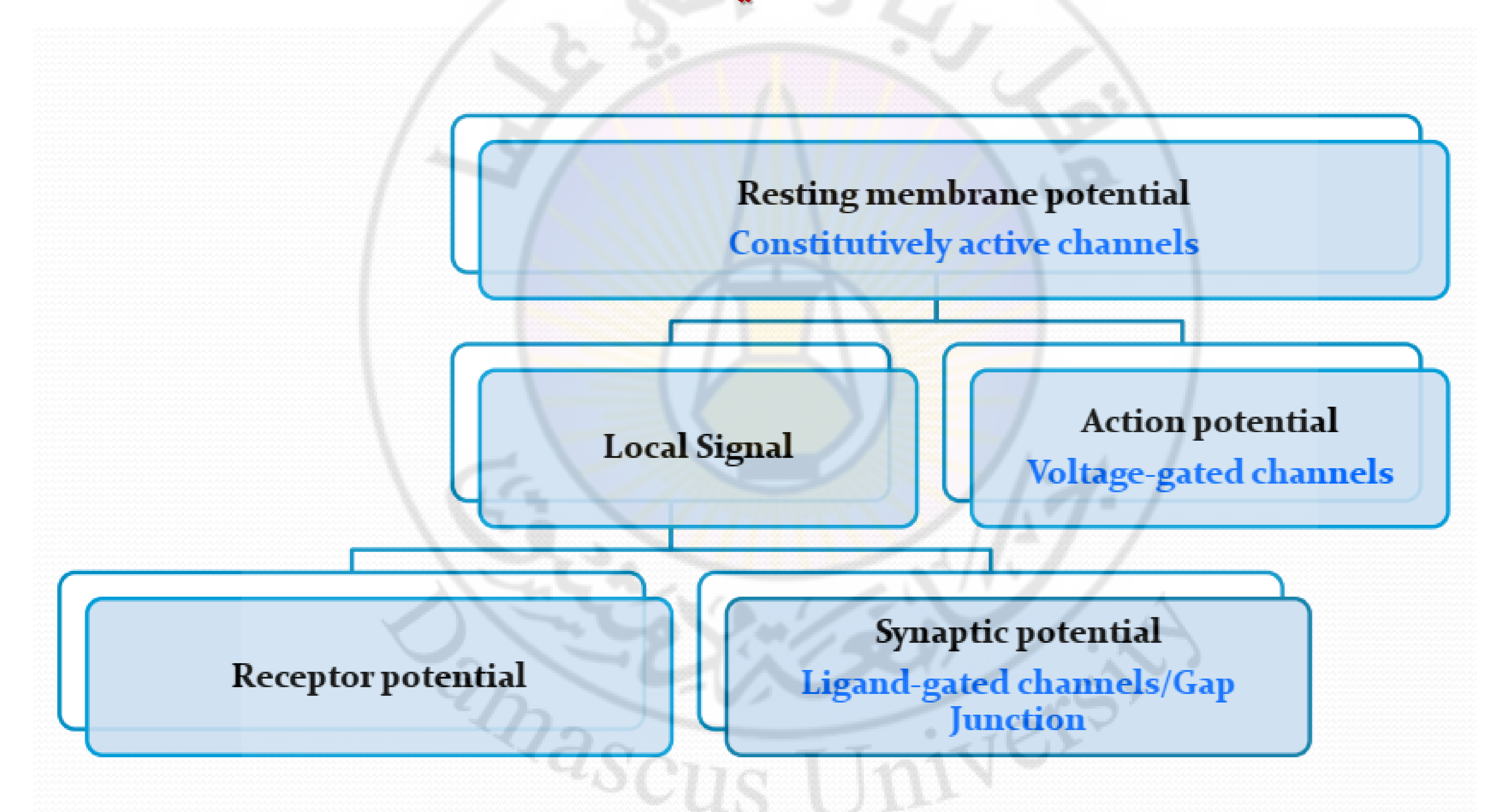
- **1. Truncated** protein connexin subunits;
- **2. Oligomerization defects impeding** the assembly of hemichannels;
- **3. Defective trafficking** of the hemichannels, impeding targeting to the plasma membrana;
- **4. Nonfunctional channels;** normal trafficking and assembly into the plasma membrane and gap-junction plaque formation, but the GJCh are closed or their pore structure severely affected, impeding the diffusion of ions and small metabolites;
- **5. Functional** channels permeable to ions but with reduced permeability to bigger molecules like IP3, affecting propagation of calcium waves or other metabolites;





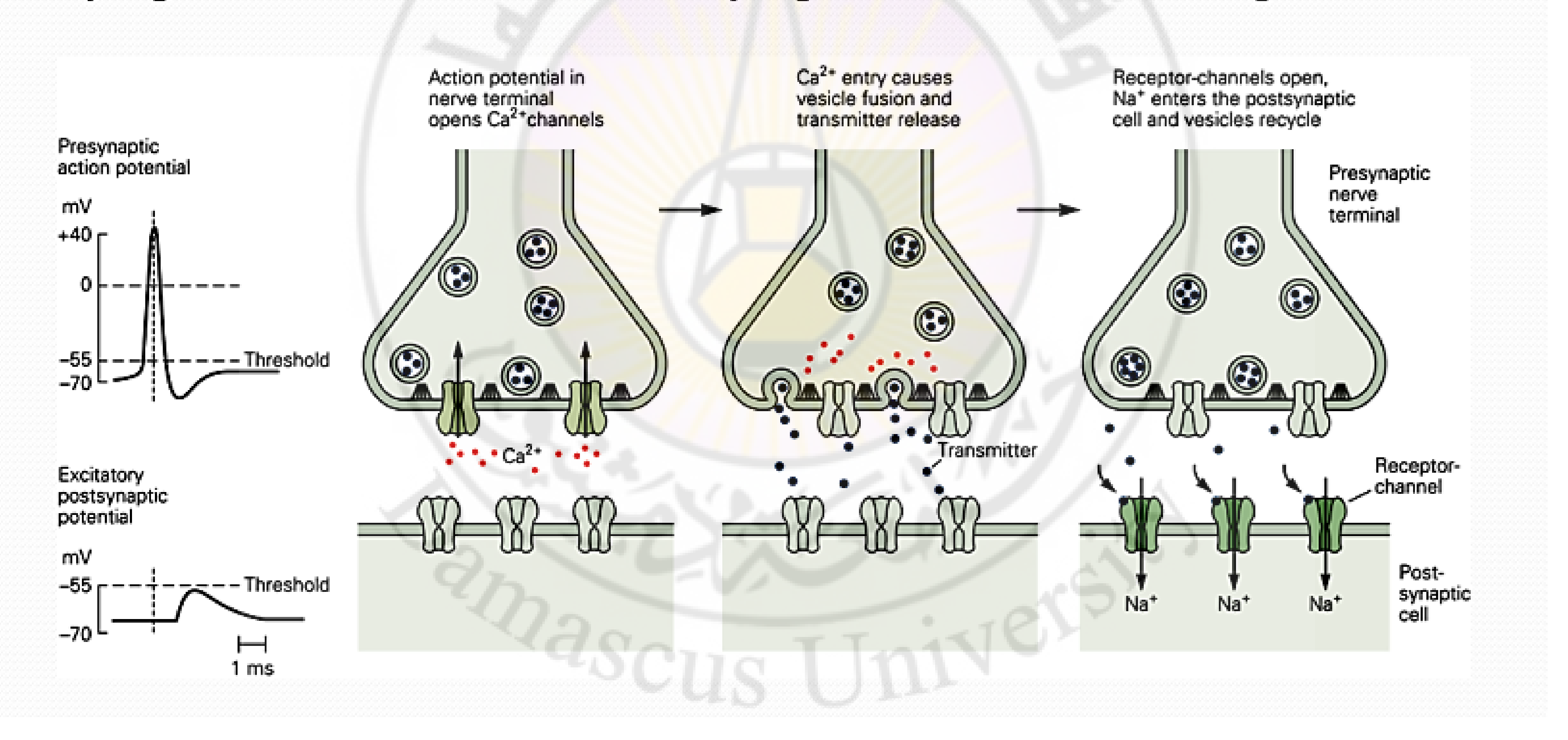
- 6. **Mutant Cx26 that can act as dominant** negative of co-expressed wild-type connexins. Mutant Cx26 can oligomerize with wild-type connexins, producing nonfunctional heteromeric channels. Heterotypic combination between mutant Cx26 hemichannel and wild-type hemichannels can also lead to nonfunctional channels;
- 7. **Aberrant functionality of free hemichannels in the plasma membrane, allowing** an increase in plasma-membrane permeability that may lead to cell death due to either loss of important intracellular metabolites (like ATP or NAD), or increase intracellular calcium concentration.

الحوادث الكهربائية في المشابك العصبية



آلية عمل المشابك الكيميائية/ الكمون ماقبل مشبكي ومابعد مشبكي

- Synaptic transmission at chemical synapses involves several steps.



التجمع المكاني Spatial Summation والتجمع الزماني Temporal Summation في المشابك العصبية

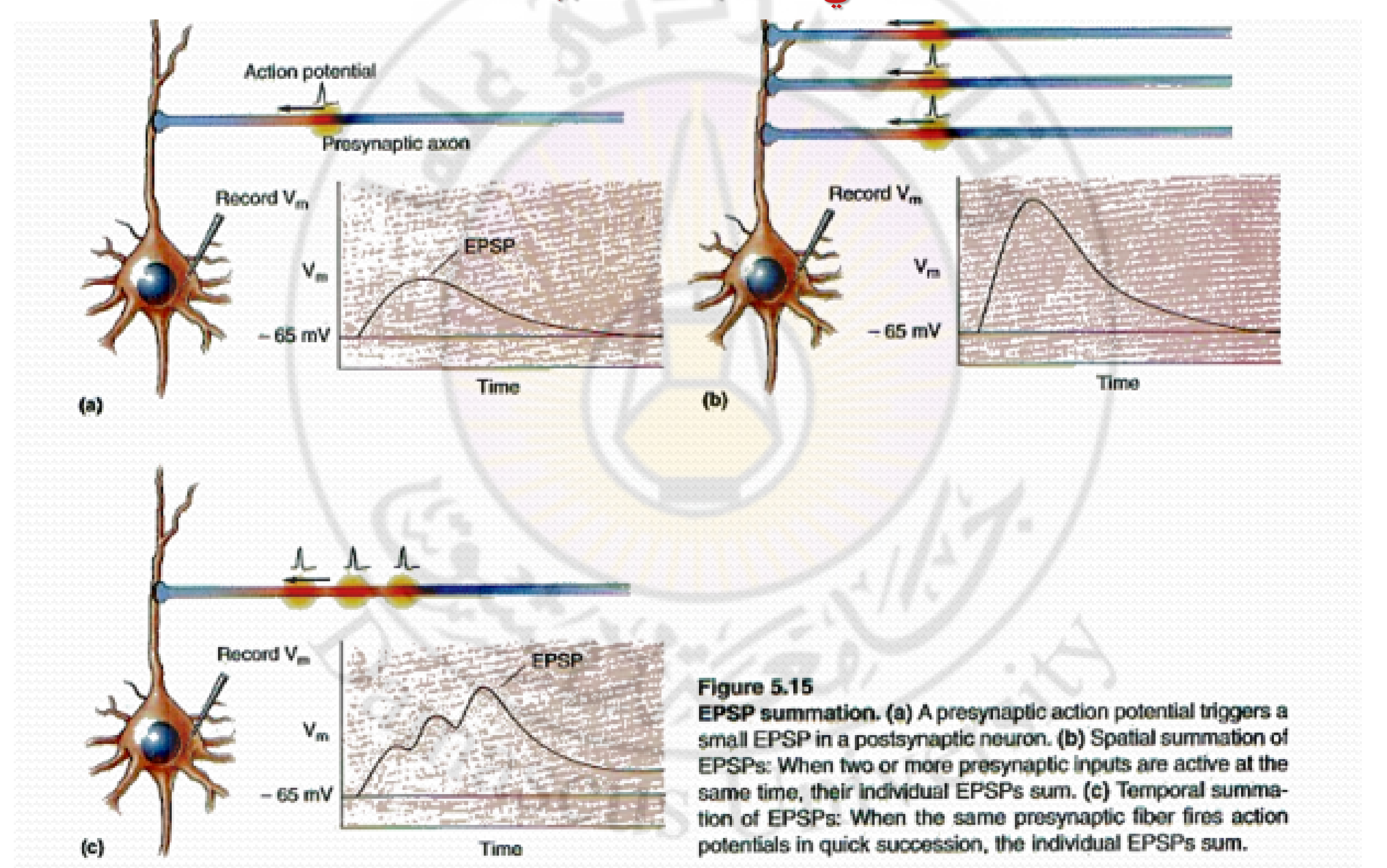
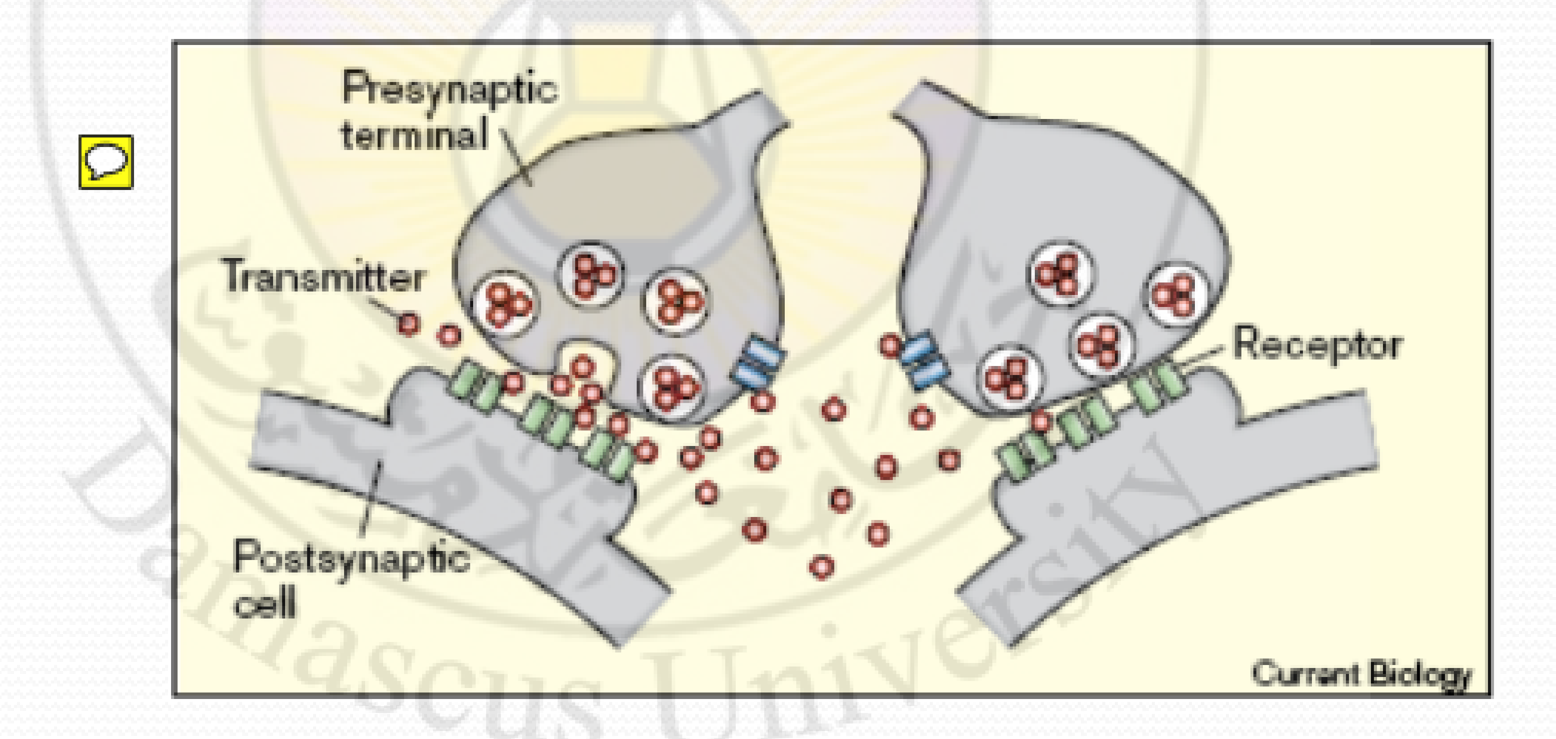


Figure 5.15
EPSP summation. (a) A presynaptic action potential triggers a small EPSP in a postsynaptic neuron. (b) Spatial summation of EPSPs: When two or more presynaptic inputs are active at the same time, their individual EPSPs sum. (c) Temporal summation of EPSPs: When the same presynaptic fiber fires action potentials in quick succession, the individual EPSPs sum.

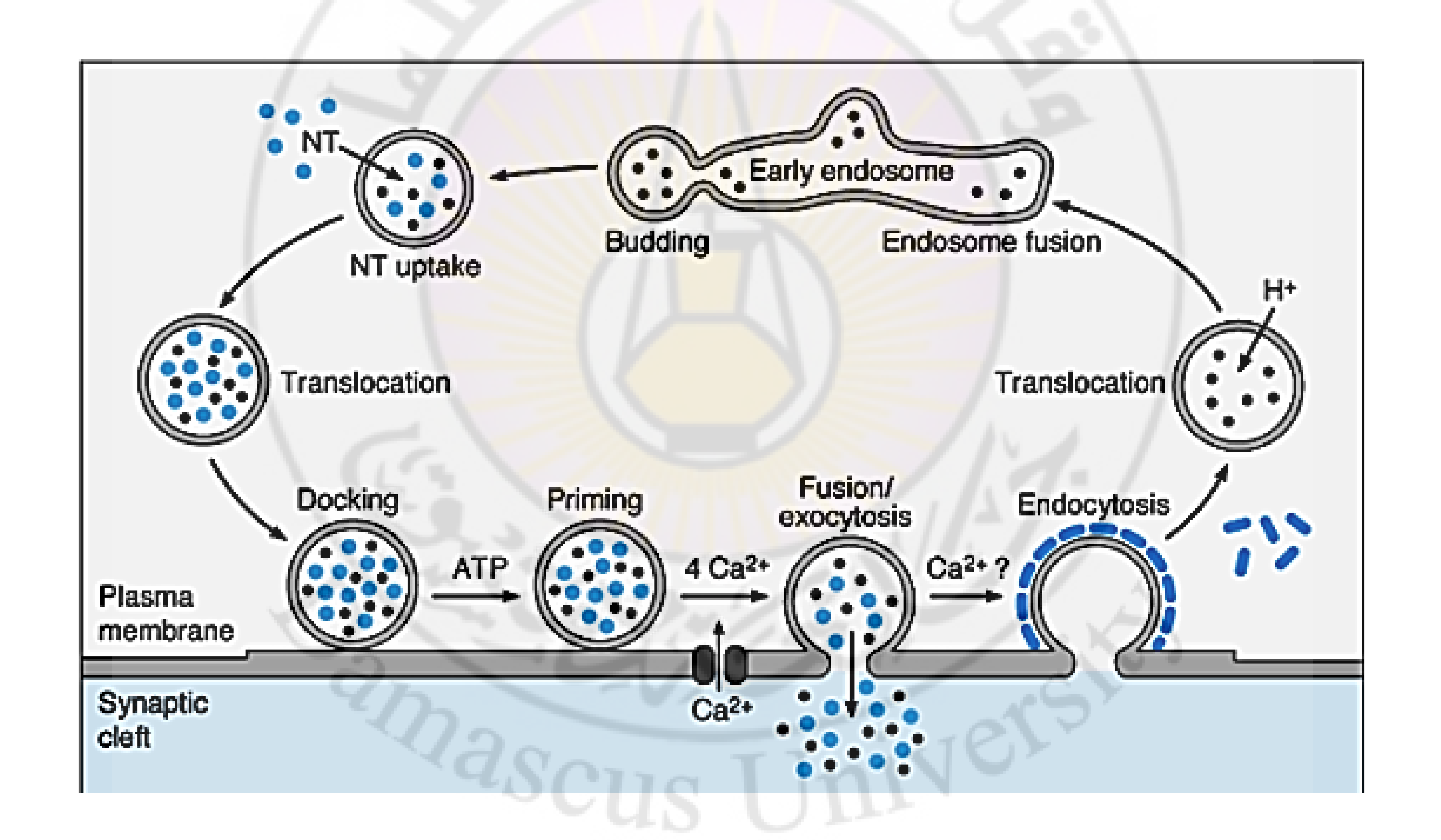


Spillover Phenomena

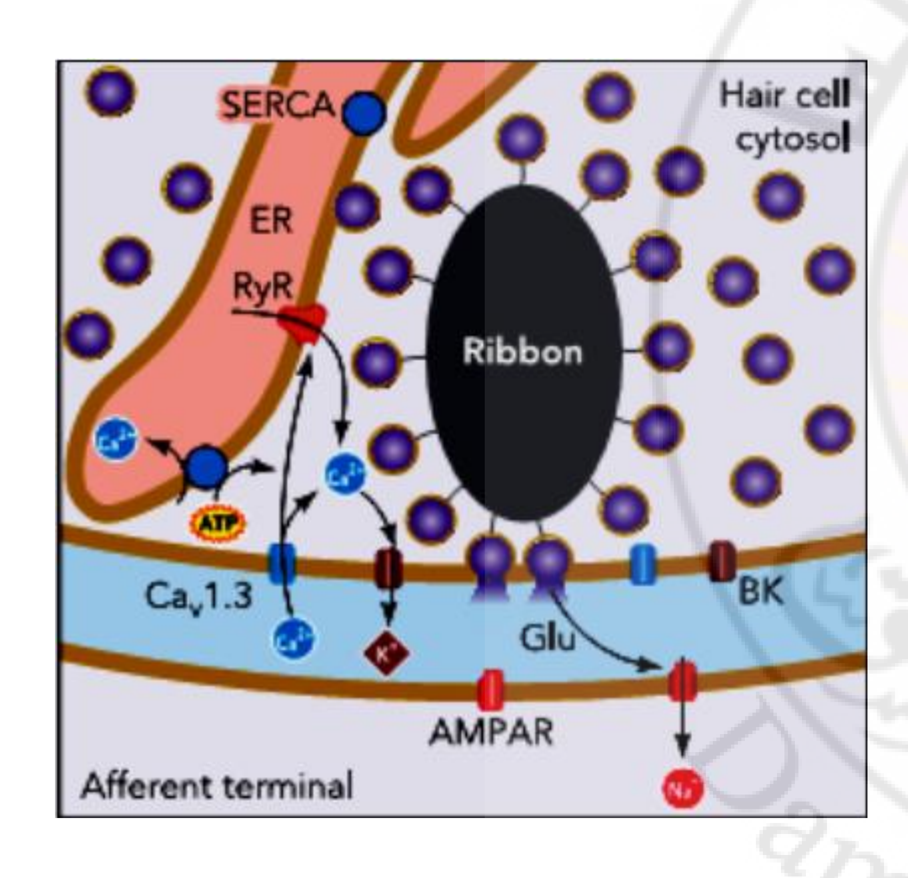
- It was thought that transmitter released at a synapse affected only a specific postsynaptic cell.
- Spillover of a transmitter produces significant cross-talk to non-postsynaptic cells.



مراحل تحرر النواقل العصبية من الحويصلات المشبكية



نموذج مشابك الريبون Ribbon في الخلايا المشعرة في الحلزوم



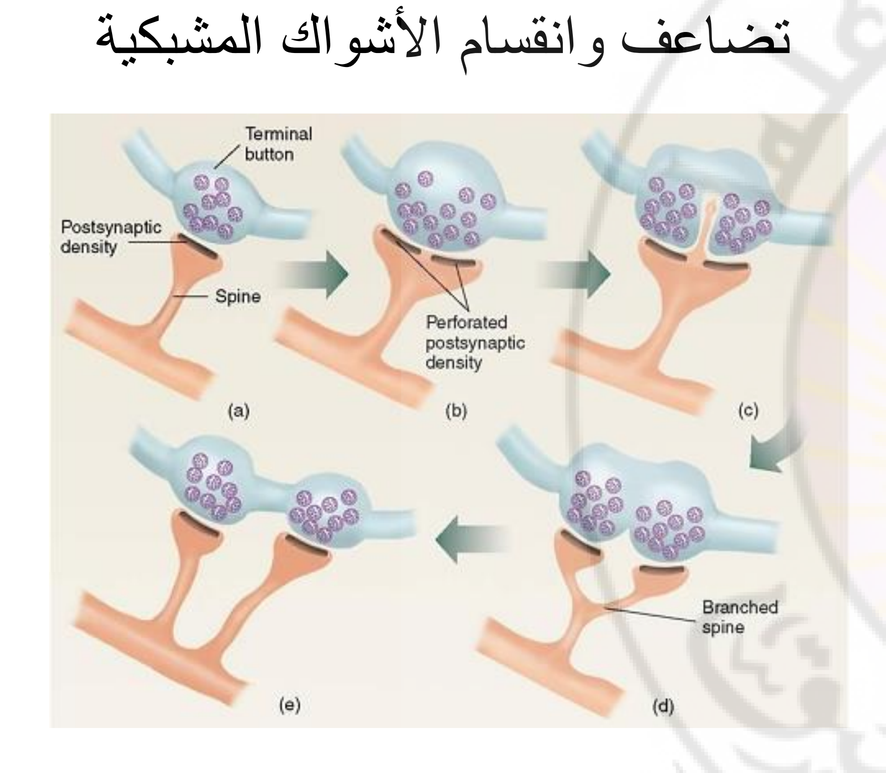
- تكمن اهمية هذا النموذج في تامين عدد كبير من الحويصلات الجاهزة لإطلاق الغلوتامات في الفضاء المشبكي حيث تكون متجمعة قرب الغشاء ماقبل المشبكي ومرتبطة بجسيم الريبون وبالتالي حدوث تفعيل سريع للغشاء مابعد المشبكي وإطلاق كمون عمل ينتشر على طول السبيل السمعي.
- لهذا النموذج من المشابك دور هام في تأمين نقل الاستشارة السمعية بمستويات منخفضة حول العتبة مما يؤمن الدقة والسرعة في ترميز الاشارة السمعية.

مرونة المشابك Synaptic Plasticity

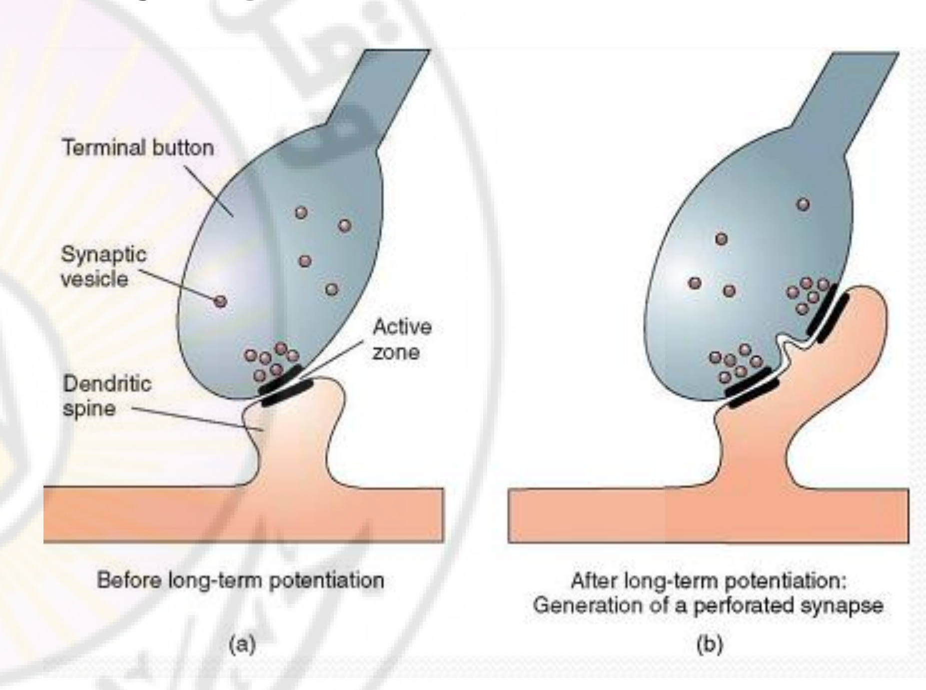
- هو مصطلح يطلق على المرونة والمطاوعة في إعادة التصنيع المشبكي استجابة للتكيف مع الظروف والتعلم والذاكرة.
- إن التعلم فزيولوجيا ونسيجيا يتم من خلال تشكل المزيد من المشابك والاتصالات العصبية التي تقوم بتأمين وظيفة محددة تم تعلمها من التجربة والتكرار (التنبيه المتكرر لاداء رسالة معينة).
- إن أي سلوك جديد أو تبدل في السلوك هو انعكاس لتبدّل في عدد وقوة وطبيعة المشابك العصبية.
- المرونة العصبية متمثلة بالمرونة المشبكية هي القدرة أو السعة Capacity الكافية لإحداث تبدّلات في الاتصالات المشبكية بين العصبونات.
- عادة تستغرق مراحل تشكل مشابك جديدة وحدوث التعلم والتكيف العصبي من 3-6 أشهر وهي الفترة التي تعطى عادة كمهلة لحدوث التكيف والتعود بعد تغير الظروف السمعية للشخص كتركيب معينة سمعية أوزرع الحلزون أو البدء بعلاج الطنين وغيرها.

نماذج النمو والتصنيع المشبكي

تضاعف وانقسام الأشواك المشبكية



تشكيل أفضية مشبكية جديدة لنفس الشوكة





أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 4

Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 1)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

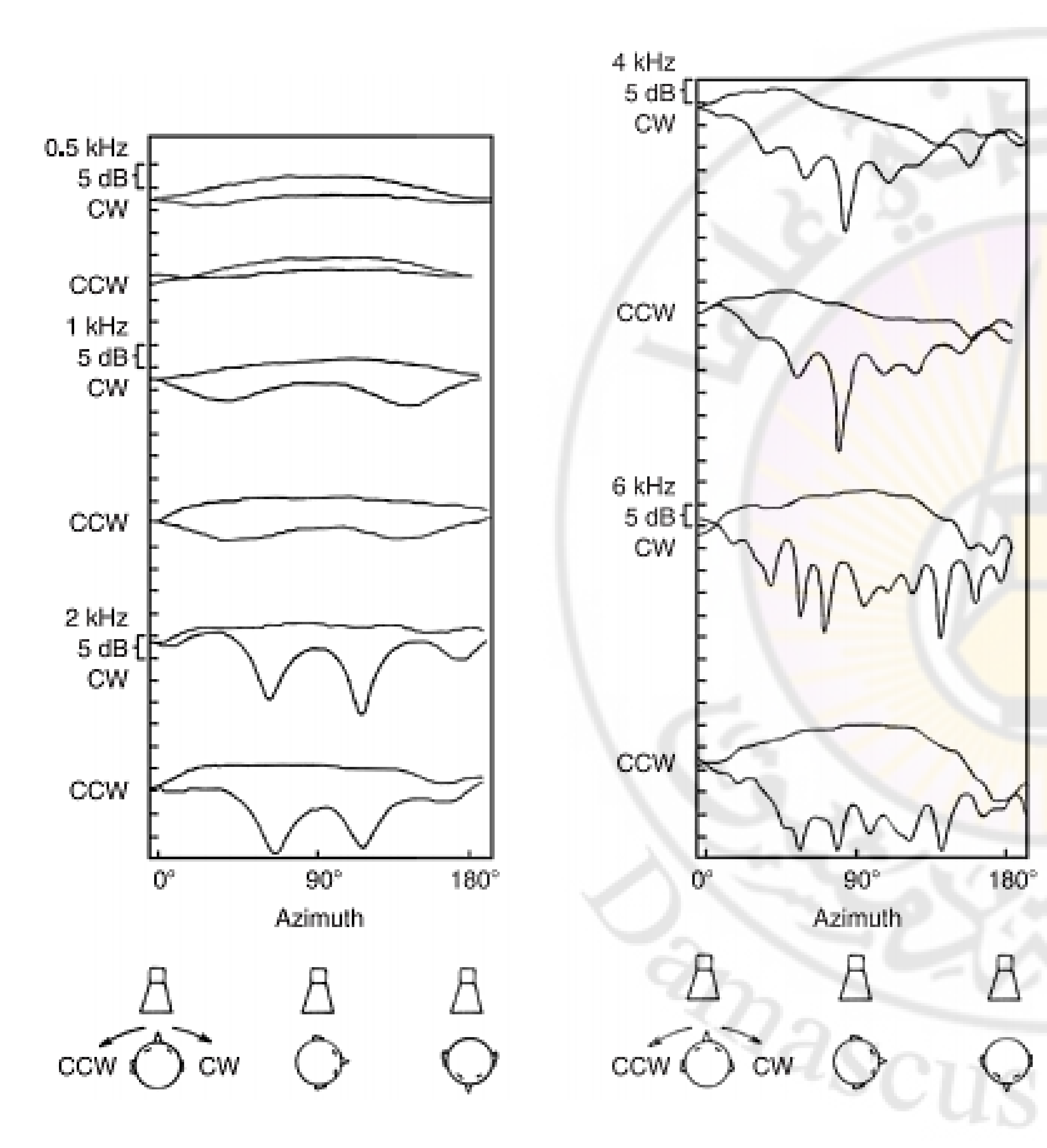
April 2022

مقدمة

- يصل الصوت إلى الحلزون بالطريقين الهوائي air conduction عبر مجرى السمع والأذن الوسطى والطريق العظمي bone conduction الذي يتجاوز الأذن الوسطى.
- لايعتبر النقل بالطريق العظمي ذو أهمية عند الأشخاص ذوي السمع الطبيعي في حين له أهمية واضحة في تخطيط السمع بسبب العبور الذي يحدث من سماعة الأذن المفحوصة بالطريق العظمي إلى الأذن الأخرى الغير مفحوصة.
- يتأثر الصوت الواصل إلى غشاء الطبل بالصيوان ومجرى السمع وشكل الرأس. يختلف هذا التأثير حسب التواترات المختلفة كما يتعلق تأثير الرأس بجهة مصدر الصوت.

دور الصيوان

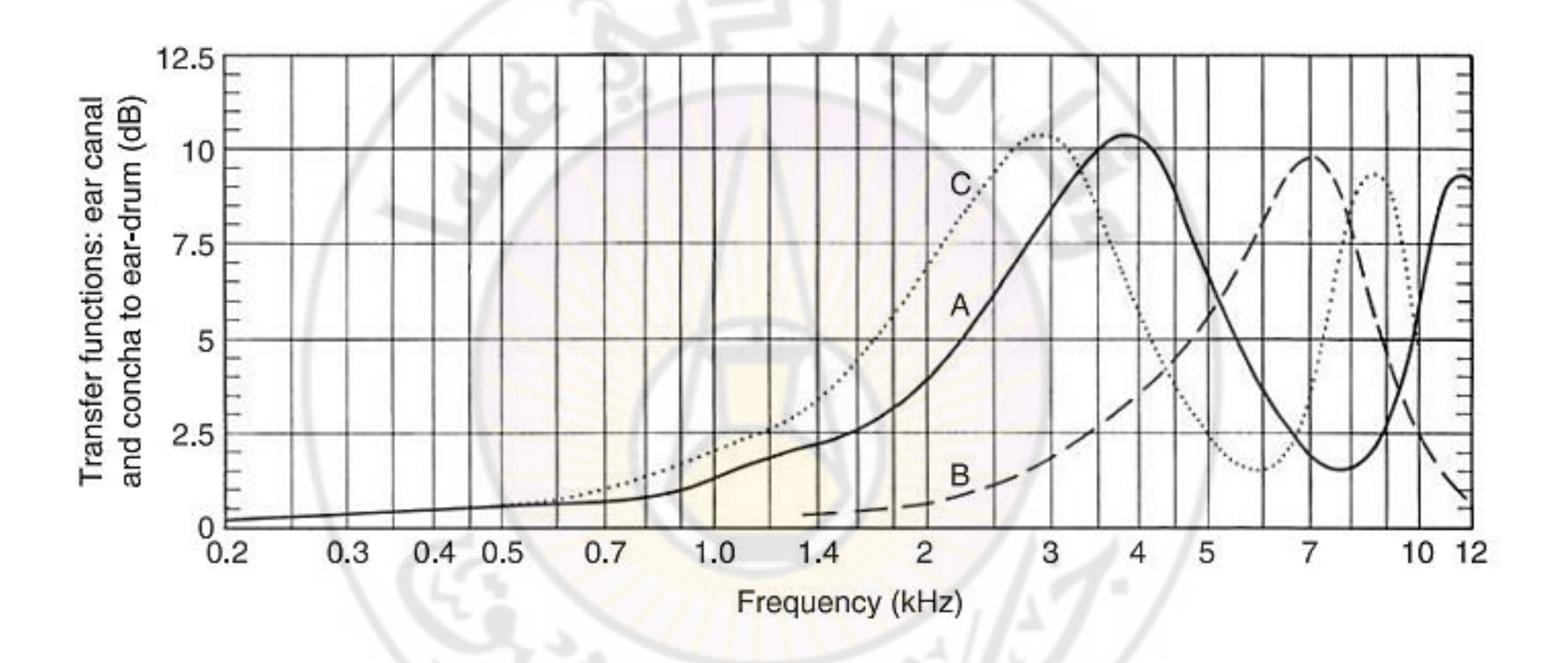
- للصيوان بشكله المميز دور هام في تجميع الصوت وتوجيهه باتجاه مدخل مجرى السمع ولكن هذه التفاصيل التشريحية الموجودة في الصيوان لها دور في إجراء تبدلات طيفية على الصوت الوارد.
- كما أن للصيوان دور في تحديد جهة الصوت في المستوى العمودي على وجه الخصوص.
- عند دراسة ضغط الموجة الصوتية الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل يتم اعتماد نموذج مانيكان يشبه الرأس البشري ويوضع مكرفون في مكان غشاء الطبل لاستقبال الصوت وقياسه. تبين نتائج هذه الدراسة ان الدور المهم للصيوان يظهر على التواترات المرتفعة حول ال 4 كيلوهرتز.
- لاحظ الشكل 4-1.



الشكل 4-1: يوضح الفرق بين ضغط الموجة الصوتية الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل في نموذج المانيكان المشابه لشكل الرأس وبين النموذج الكروي، عند التواتر 500 وال 4000 هرتزوحسب زوايا مختلفة لورود الصوت. الفرق بين المنحنيين في كل حالة يمثل دور الصيوان في تشديد الصوت حيث يلاحظ أن هذا التأثير أعظمي عند التواتر 4 كيلوهرتز.

دور مجرى السمع

- يعمل مجرى السمع كوسط رنان resonator بالإضافة لوظيفة نقل الصوت sound transfer.
- تعرف وظيفة النقل أو تابع نقل التواتر frequency transfer function أو نظام النقل transmission function بأنه تمثيل بياني للنسبة بين الخرج عند غشاء الطبل والدخل عند مدخل المجرى في الصوت وتعرف بمخطط بود Bode plot وهي تابع التبدل في السعة amplitude حسب التواتر ويعبر عنه بالديسبل.
- يتميز تابع النقل بوجود ذروة حول التواتر 3000 هرتز (وسطياً 2.8 كيلوهرتز) بحيث يلاحظ وجود كسب بحدود 10 ديسبل على الصوت الواصل إلى غشاء الطبل حول التواتر المذكور نسبة للصوت الوارد عند مجرى السمع.
- ينطبق هذا الأثر على الأصوات الواردة من مكان بعيد إلى مجرى السمع (الحقل الحر) ويختلف عند استخدام السماعات الرأسية head phone أو سماعات داخل المجرى insert phone.
- لاحظ الشكل 4-2.



الشكل 4-2: تأثير مجرى السمع على ضغط الموجة الصوتية الواردة إلى غشاء الطبل. A يعبر عن فرق ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل وعند مدخل مجرى السمع. B فرق ضغط الصوت بين غشاء الطبل ونقطة تبعد عنه 1.25سم داخل مجرى السمع أي يناسب حالة السماعة داخل المجرى. C دراسة نظرية لفرق الضغط بين غشاء الطبل وبين نقطة افتراضية تشكل مركز قوقعة الصيوان.

دور الرأس

- يلعب الرأس دور الحاجز أو المعيق لتجمع الأمواج الصوتية في الحقل الحر.
- يؤثر الرأس والأذن على الحقل الصوتي بحيث يختلف ضغط الموجة الصوتية عند مدخل الأذن نسبة لأي نقطة أخرى في الرأس.
- يرتبط تأثير الرأس بحجمه وبطول موجة الصوت وبالتالي يتعلق التضخيم amplification بالتواتر أو طيف الصوت. وعليه يختلف طيف الصوت الواصل إلى غشاء الطبل عن ذلك المقاس في الحقل الحر.
- بحساب بسيط يمكن معرفة طول الموجة الصوتية لكل تواتر، فلو افترضنا سرعة الصوت في الهواء بالشروط العادية 340 م/ثا وعليه فإنه لتواتر 1000 هرتز يكون طول الموجة الصوتية مقدرا بحدود 34 سم. وعليه يمكننا مقارنة علاقة طول موجة كل تواتر بحجم الرأس.
- كما يتعلق دور الرأس بجهة مصدر الصوت حيث يلعب الرأس دور الحاجز baffle للأذن الواقعة من جهة مصدر الصوت في حيث يلعب دو الظل shadow للأذن الواقعة في عكس جهة مصدر الصوت.

دور الرأس

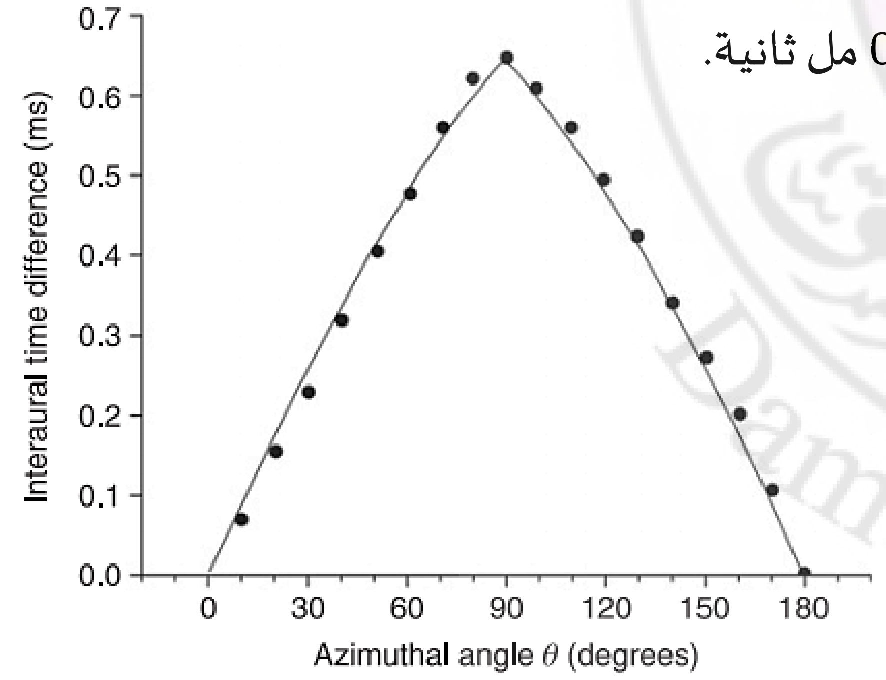
- إن دراسة تأثير الرأس على الصوت الوارد إلى غشاء الطبل يفترض وجود الرأس في الحقل الحر بمواجهة المنبع الصوتي دون وجود أي عوائق بينهما وأي انعكاسات reflections الأمر الذي لا يتحقق في أغلب الحالات كما في داخل غرفة عادية حيث ينعكس الصوت من اتجاهات مختلفة ولتحقيق هذه الشروط لأغراض بحثية أو تشخيصية يجب استخدام الغرف معدومة الصدى Anechoic chamber والتي تمتاز بوجود جدران تمتص أغلب طاقة الموجة الصوتية وتلغي أو تخفف الانعكاس قدر الإمكان.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

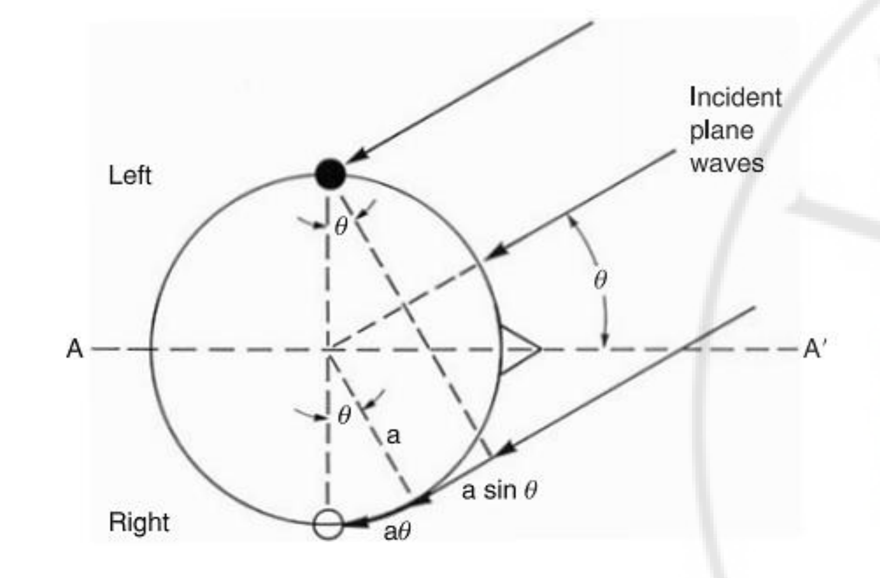
- إن الأساس الفيزيائي لتحديد جهة الصوت في المستوى الأفقي يعتمد على اختلاف زمن وصول الصوت إلى الأذنين Inter-aural time difference (ITD) وعلى اختلاف شدة الصوت الواصل إلى الأذنين Inter-aural loudness difference (ILD).
- لا يتعلق اختلاف الشدة بجهة منبع الصوت في المستوى الأفقي وحسب وإنما يعتمد أيضاً على التواتر في حين لا يتعلق اختلاف زمن الوصول إلى الأذنين بالتواتر إلى حد كبير.
- يتم معالجة الاختلاف في الزمن والشدة في السبيل السمعي المركزي وعليه يتم تحديد جهة الصوت (سيتم دراسته لاحقا في هذا المقرر بالتفصيل).
- أما بالنسبة لتحديد جهة الصوت بالمستوى العمودي فيعتبر الأمر أقل فهماً ولا توجد معلومات واضحة بشأنه. ربما يتعلق الأمر بالخصائص الصوتية للأذن الخارجية (الصيوان تحديدا) خصوصا عند التواترات المرتفعة.

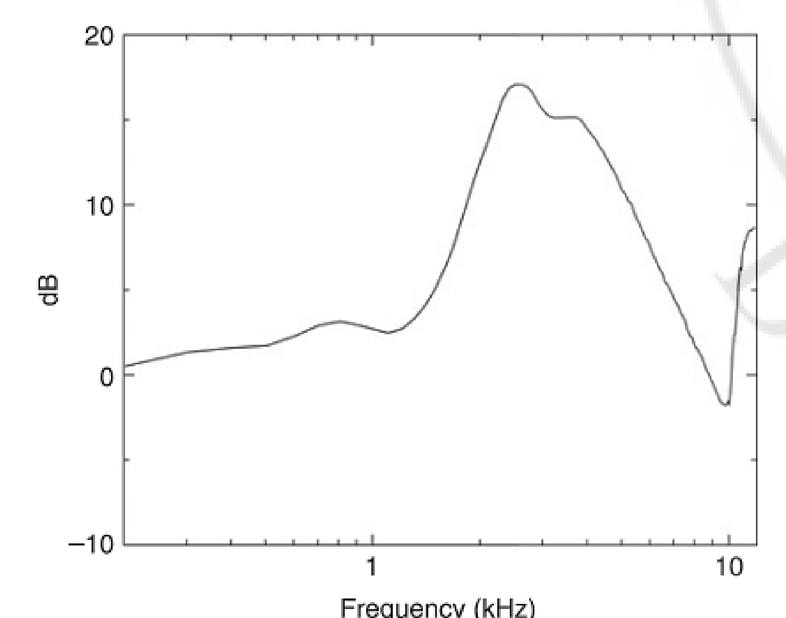
الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

- عادة يصل الصوت بزمن مختلف إلى الأذنين إلا عندما يتم تقديم المنبه تماماً من الأمام أو من الخلف.
- يعود السبب في ذلك إلى اختلاف المسافة التي يقطعها الصوت من المنبع إلى كل أذن والتي ترتبط بعلاقة خطية مع الأفق Azimuth.
- إن الفرق الأعظمي في زمن الوصول لكلا الأذنين في النموذج المثالي يقدر بحدود 0.6 مل ثانية.
- تشير الدراسات إلى أن اختلاف زمن الوصول بين الأذنين ITD هو أكثر أهمية في الأصوات العابرة (المؤقتة) (transient) وعلى التواترات المنخفضة الأقل من 1.5 كيلوهرتز، في حين يعتبر اختلاف الشدة بين الأذنين ILD أكثر أهمية في التواترات المرتفعة (علل؟).



الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing





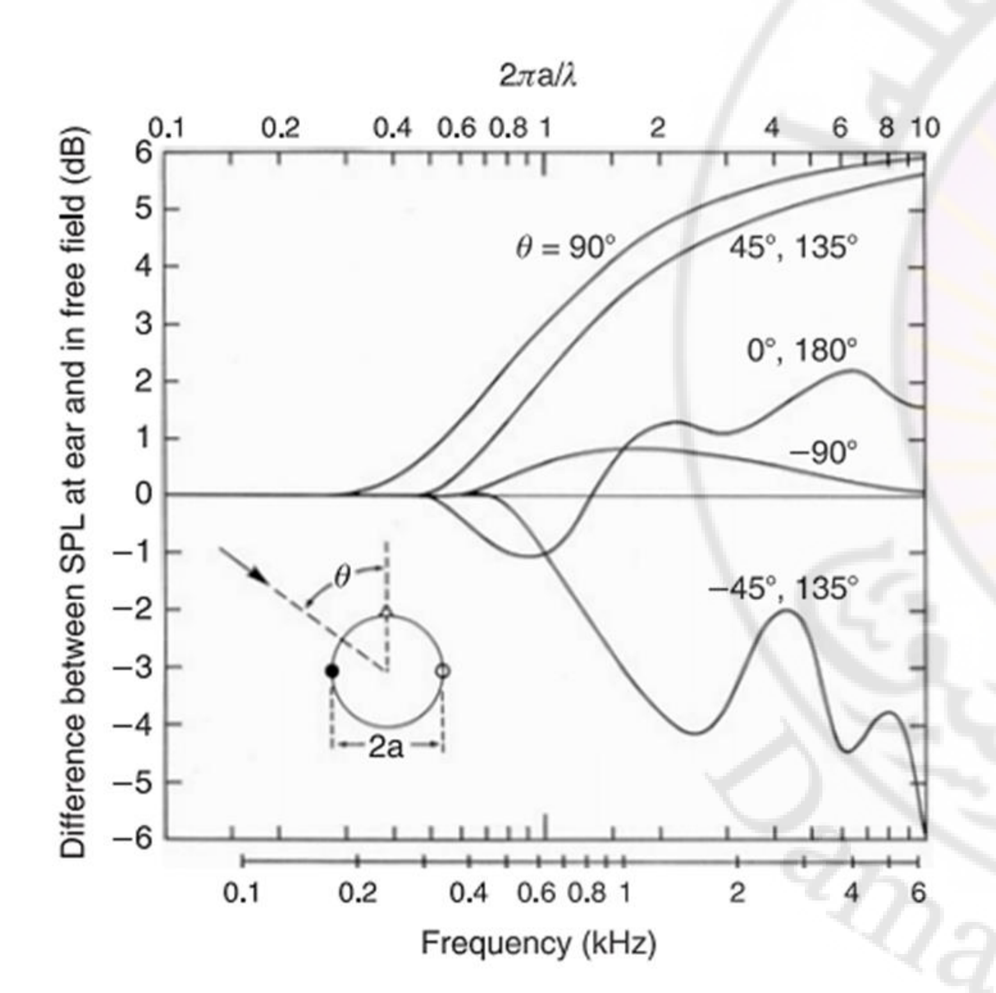
- يتم اعتماد نموذج بشكل رأس كروي وبحجم تقريباً مناسب لرأس الإنسان البالغ وتدويره بالاتجاهات المختلفة نسبة لمنبع الصوت لدراسة التعديل على الصوت الوارد من الحقل الحر إلى غشاء الطبل.

- أظهرت هذه الدراسات أن ضغط الصوت عند غشاء الطبل أكبر بحدود 15 ديسبل منه في الحقل الحر على التواترات 2-4 كيلوهرتز وذلك عندما يكون المنبع متوضع تماماً أمام الرأس. ويحدث انخفاض واضح في تابع النقل transfer functionعند تواتر 10 كيلوهرتز.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing

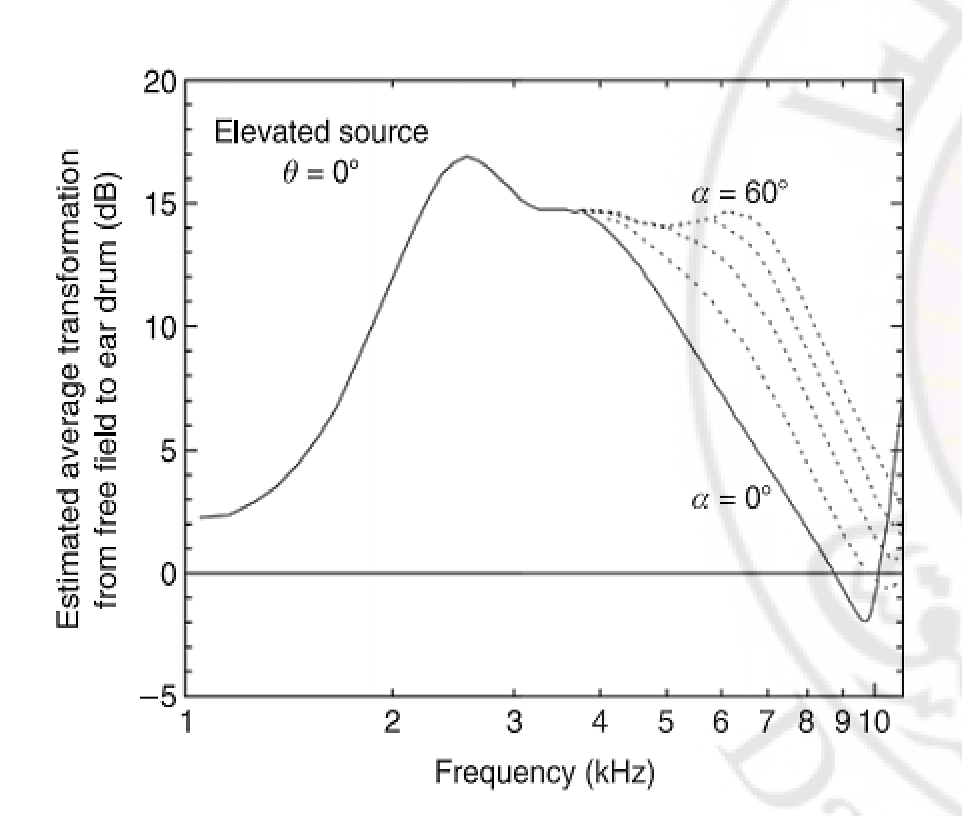
- ينجم الاختلاف في شدة الصوت الواصل إلى الأذنين عن تموضع الرأس كعائق داخل الحقل الحر. حيث يلعب الرأس دور الدرع (shield) أمام الأذن المعاكسة لجهة منبع الصوت مما يخفف شدة الصوت الواصلة إليها في حين يلعب دور حاجز baffle خلف الأذن الموافقة لجهة المنبع فيسمع الصوت فيها أعلى شدة.
- وهذا الأمر يرتبط بالتواتر حيث أن الأصوات ذات التواترات المرتفعة (طول الموجة أقصر) ترتطم بالكامل بالرأس ويكون فرق الشدة فيها جلياً أكثر من التواترات المنخفضة ذات طول الموجة الكبيرة والتي قد تتجاوز ظل الرأس وصولاً للأذن المقابلة دون خسارة تذكر في شدة الصوت. وعليه تم القول بأن دور الرأس في نقل الصوت إلى مدخل مجرى السمع لا يعتمد فقط على زاوية منبع الصوت Azimuth وإنما أيضاً على تواتره.

الأسس الفيزيائية للسمع الاتجاهي
Directional Hearing



- في المجال التواتري الذي يتراوح بين 2.5-4 كيلوهرتز يتراوح التضخيم الحاصل بفعل الرأس والصيوان على الصوت الوارد إلى الأذن بين 8-21 ديسبل اعتماداً على زاوية منبع الصوت في المستوى الأفقي.
- بحيث يؤثر دور الرأس كحاجز وظل shadow+baffle على جميع الأصوات الواردة من زوايا أفقية مختلفة ما عدا الزاوية 0 (أمام) والزاوية 180 (خلف).
- بالنسبة لمجال تواتري واسع (أعلى من 1 كيلوهرتز) تكون شدة الصوت الواردة إلى الأذن من زاوية 45-90 درجة لشخص رأسه مستقيم إلى الأمام أعلى بحدود 5 ديسبل نسبة للصوت المقاس في الوسط الحر الذي يتموضع فيه الرأس.
- إن مقدار التبدل في شدة الصوت الواصل من الحقل الحر إلى غشاء الطبل يختلف من شخص إلى آخر لأنه يختلف بحسب شكل وحجم الرأس لكل شخص أما النتائج المعطاة في الشكل 2-5 تتعلق بالنموذج الوسطي.

تأثير ارتفاع منبع الصوت على ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل



- لايؤثر ارتفاع منبع الصوت بالمستوى العمودي على زمن وصول الصوت إلى كلا الأذنين. وبالتالي لتحديد مكان الصوت في المستوى العمودي يجب الاعتماد على عوامل أخرى كاختلاف الطيف التواتري للصوت الواصل إلى كلا الأذنين من زوايا شاقولية مختلفة.

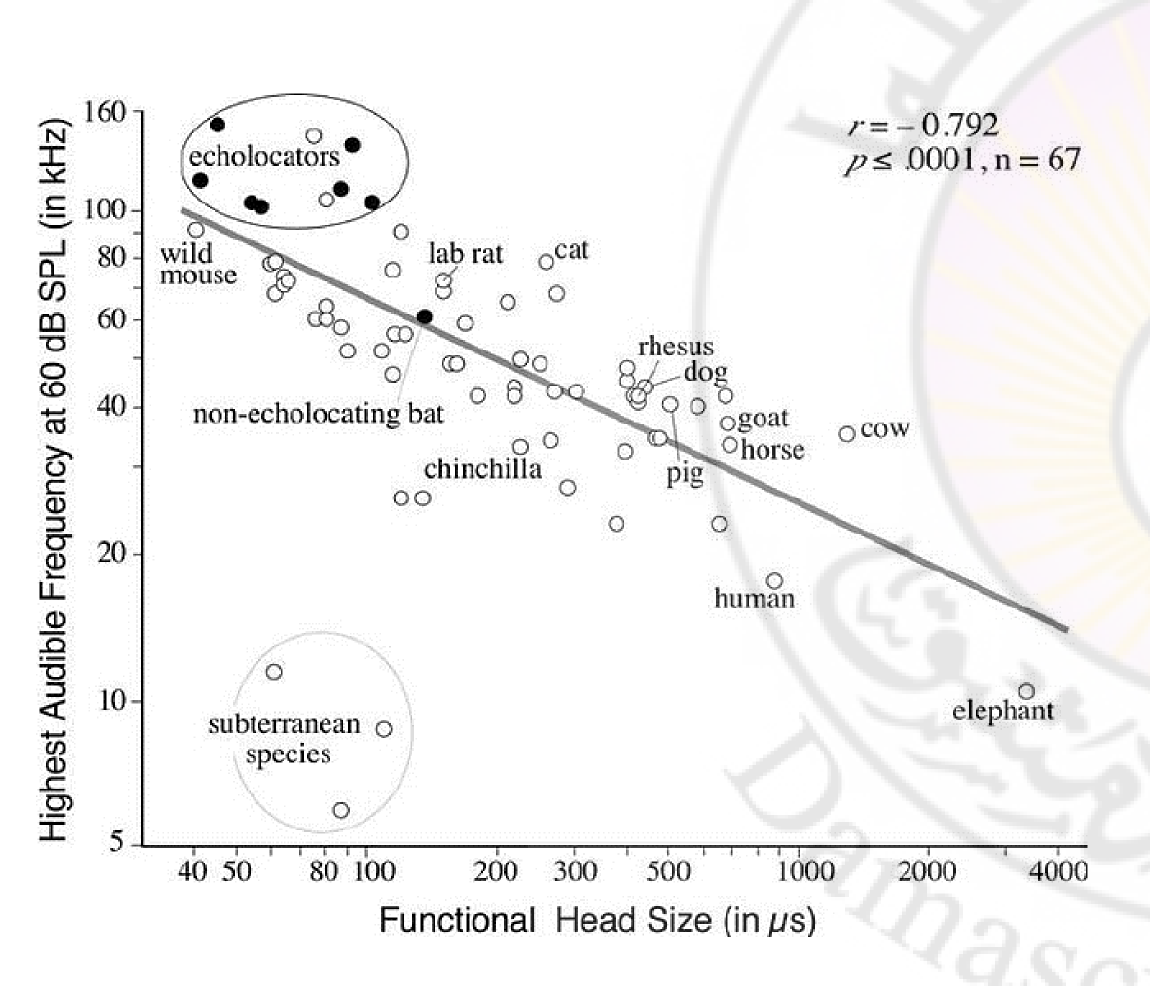
- يلعب الصيوان دورا هاما في تحديد مكان الصوت بالمستوى العمودي حيث يكون هذا التأثير أعلى مايمكن عند التواتر 4 كيلوهرتز.

- في الشكل المرفق نلاحظ انخفاض ضغط الصوت الواصل إلى غشاء الطبل عند زاوية صفر أفقي وعمودي عند التواتر 4 كيلوهرتز. وعند زيادة الارتفاع يزداد تواتر القطع Cut off frequency ليصل لحدود 7 كيلوهرتز عند زاوية 60 درجة عمودي وعند هذه النقطة يتحقق كسب بحدود 10 ديسبل نسبة بالموجة الواردة من زاوية صفر.

المجال التواتري للسمع
Hearing Range

- أصبح معروفاً أن المجال التواتري للسمع عند الإنسان يتراوح بين 20 هرتز- 20 كيلو هرتز، فين حين يمكن في ظروف القياس المثالية أن يتم سماع صوت يصل تواتره إلى 12 هرتز أو 28 كيلوهرتز.
- يسجل ارتفاعاً واضحاً في عتبات السمع عند تواتر 15 كيلوهرتز عند الإنسان البالغ السليم. في حين تكون حساسية السمع المثلى عند اللإنسان حول تواترات أخفض من ذلك بحيث لا تتجاوز 8000 هرتز.
- يتعلق المجال التواتري وخصوصاً السمع على التواترات الحادة بشكل وحجم الرأس وخصائص الجهاز السمعي عند الإنسان.
- تمتلك الحيوانات المختلفة مجالاً للسمع يختلف بحسب شكل وحجم الرأس وبحسب متطلباتها للبقاء، بحيث يتطلب السمع المفيد إدراك الاختلاف في زمن الوصول وشدة الصوت بين الأذنين مجالاً أوسع للتواترات عند للحيوانات ذات حجم الرأس الأصغر.

Hearing Range المجال التواتري للسمع



- يتراوح مجال السمع عند الرئيسات من غير البشر كالثدييات بين 60 هرتز و58 كيلوهرتز فين حين تمتلك القطط مجالاً أوسع (حجم رأس أصغر) يتراوح بين 55 هرتز – 79 كيلوهرتز، باستثناء قط الشنشيلا chinchillaوالذي يمتاز برأس كبير نسبياً وطول حلزون قريب للحزون البشري وبالتالي طيف تواتري أضيق عند التواترات المرتفعة مما يجعله مناسباً كحيوان تجربة في الأبحاث السمعية
- يعتبر الخفاش والجرذ الأبيض والفئران ذات كفاءة عالية في السمع على التواترات المرتفعة، حيث يستطيع الخفاش سماع أصوات يصل تواترها حتى 200 كيلوهرتز والفأر السوري الصغير بحدود 120 كيلوهرتز والجرذ الأبيض والجربل بحدود 70 كيلوهرتز.
- في حين تعتبر الحشرات الأكفأ على الإطلاق فس سماع أصوات ذات تواترات مرتفعة تصل حتى 300 كيلوهرتز وذلك يجعلها في مأمن من الخفاش.
- يمكن قياس الأمر ذاته على الطيور والأسماك، في حين يمتلك الفيل المجال التواتري الأضيق بين الثدييات ولا يستطيع تمييز الأصوات ذات التواتر الأعلى من 12 كيلوهرتز.



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 5

Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 2)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

April 2023

دور الأذن الوسطى كناقل معاوق
Middle ear as impedance Transformer

- تمثل وظيفة الاذن الوسطى واحدة من أهم السيناريوهات الفيزيولوجية في البدن، فلو تخيلنا أن نريد التحدث الى شخص وهو تحت الماء فلن يسمعنا لأن معظم الصوت سوف ينعكس على سطح الماء الأمر نفسه بالنسبة للحلزون المليء بالسوائل فمن المفترض أن تنعكس كامل الموجة الصوتية عن سطح النافذة البيضية وذلك بسبب الاختلاف الواسع بين طبيعة الوسط الغازي للأذن الوسطى والسائل للحلزون.
- نظريا يمكن القول أن نقل الصوت الى النافذة البيضية يجب أن يتحسن بمقدار **36 ديسبل** اذا عملت الاذن الوسطى كناقل معاوق مثالي مع نسبة نقل صحيحة. أما واقعيا فإن نسبة نقل الاصوات في الاذن الوسطى لدى البشر تبتعد بشكل بسيط عن المثالية و ذلك بسبب ارتداد جزء من الصوت على غشاء الطبل و هذا يسبب خسارة في الصوت المنقول للقوقعة.
- إن العمل الناقل للمعاوقة في الاذن الوسطى ينجم بشكل أساسي عن فرق المساحة بين القسم الفعال من غشاء الطبل و الصفيحة القدمية للركابة بالإضافة لتدخل كل من تأثير الرافعة لعظيمات السمع والتواء غشاء الطبل.
- إن للاذن الوسطى كتلة Mass و صلابة Stiffness تجعل خواصها الناقلة معتمدة على تواتر الصوت.

آليات الأذن الوسطى

- لقد صممت آليات الأذن الوسطى لزيادة الضغط المقدم الى الحلزون وبالتالي التغلب على مقاومة جريان الطاقة المسمى بالمعاوقة Impedance وكما نعلم أن:

الضغط = القوة / السطح

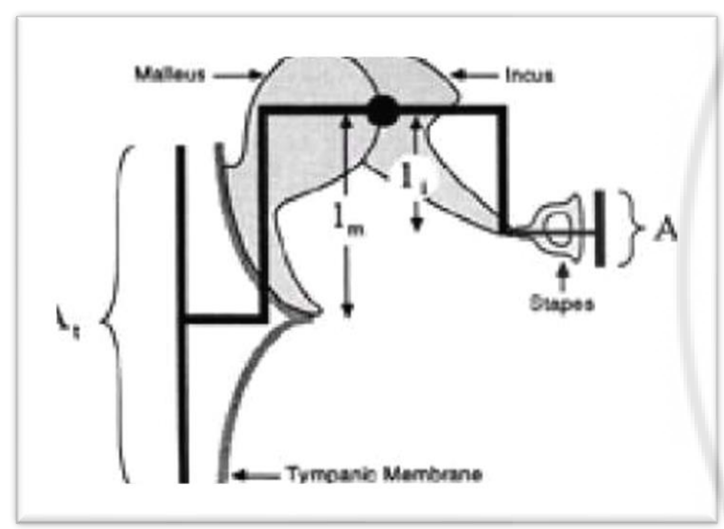
- فإن زيادة الضغط تقوم على إما زيادة القوة أو إنقاص السطح وتقوم آلية الأذن الوسطى على الطريقة الثانية كوسيلة أساسية للتوفيق بين معاوقة الأذن الخارجية والداخلية وهي الوظيفة الأساسية للأذن الوسطى والتي تتمثل في التوفيق بين كلا الجهازين الناقلين الأذن الخارجية والحلزون.

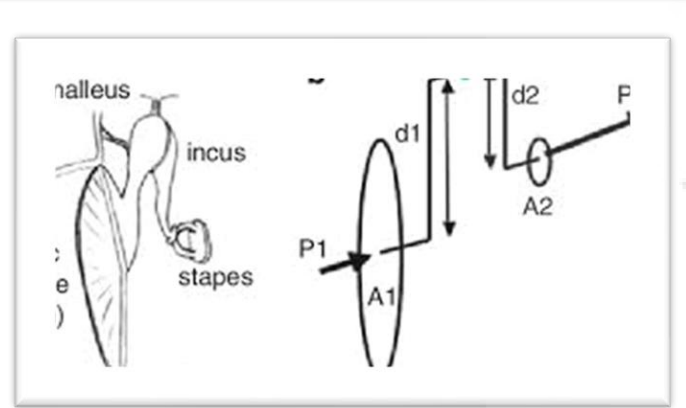
- **ملاحظة أساسية**: إن نسبة مساحتي غشاء الطبل الى الصفيحة القدمية للركابة تعتمد على تواتر الصوت لأن القسم الفعال من غشاء الطبل و ليس سطحه التشريحي كاملا هو من يشكل نسبة النقل ومن هنا نبدأ بالتصور أن آليات الأذن الوسطى تعتمد على التواتر Frequency Dependent.

آليات الأذن الوسطى

- تقوم الآلية الأولى للأذن الوسطى على مبدأ فرق المساحة Area difference بين غشاء الطبل والنافذة البيضية: حيث تبلغ المساحة الفعالة لغشاء الطبل بحدود ٥٥ مم مربع في حين تبلغ مساحة النافذة البيضية حوالي ٣.٢ مم مربع مما يجعل غشاء الطبل أكبر ب ١٧ مرة من النافذة البيضية وعليه فإن الطاقة الصوتية الواصلة الى غشاء الطبل يتم تجميعها كالقمع باتجاه السطح الأصغر للنافذة البيضية مما يحقق كسب وقدره ١٧ الى ١ والذي يقدر بزيادة حوالي ٢٥ ديسبل.

- أما الآلية الثانية للأذن الوسطى فتعتمد على فرق الرافعة Lever difference حيث أن طول قبضة المطرقة يبلغ حوالي ٩ مم أما طول النائئ الطويل للسندان فهو حوالي ٧ مم مما يعطي كسب قدره ب١/٢ والدي يقدر بزيادة حوالي ٢ ديسبل.

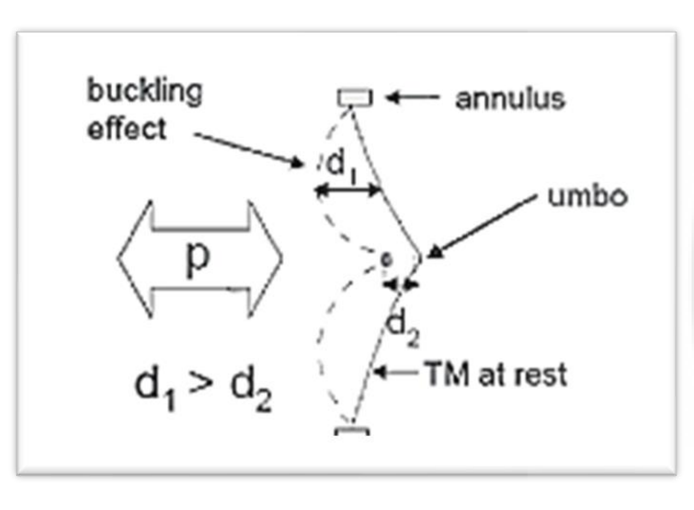




آليات الأذن الوسطى

- أما الآلية الثالثة فتتمثل بالتواء غشاء الطبل: Buckling حيث أنه عندما تصل الموجة الصوتية لتحرك غشاء الطبل فإنه يلتوي قليلا دافعا قبضة المطرقة قليلا الى أبعد من غشاء الطبل المتحرك مؤدياً إلى كسب وزيادة في الضغط بحدود ٤-٦ ديسبل.

- مجتمعةً معا فإن: فرق الصفحة - الرافعة والالتواء تسبب كسب يقدر بحدود ٣١ ديسبل من غشاء الطبل وصولا الى الحلزون وذلك حسب تواتر المنبه وعليه فإن غياب الأذن الوسطى سيحتم خسارة تضخيم بحدود ٣١ ديسبل من مجرى السمع إلى الحلزون أي أن الوظيفة المحولة (المعدلة) Transforming للأذن الوسطى هامة جداً لحدوث السمع audition وأن العوامل التي تسبب اضطراب وظيفة الأذن (حالات الالتهاب – التصلب - الورم الكبي الوداجي) يكون لها تأثير خطير على آليات نقل الصوت إلى الأذن الداخلية.



The footplate of stapes acts like a small piston on the cochlear fluid through a membraneous connection that seals the oval window of the cochlea. The buckling motion of the tympanic membrane decreases the velocity two-fold and increases the force two-fold, changing the impedance ratio four-fold.

- إن كفاءة الاذن الوسطى كناقل معاوق تعتمد على تواتر الصوت حيث تعيق صلابة الاذن الوسطى الحركة عند سماع الأصوات ذات التواتر المنخفض بينما تخمد الكتلة الحركة عند ورود الاهتزازات ذات التواتر المرتفع.
- يتسبب الاحتكاك في الأذن الوسطى في فقدان الطاقة بشكل مستقل عن تواترالصوت.
- إن نسبة الرافعة قد تكون متعلقة بتواتر الصوت لأن نمط اهتزاز السلسلة العظمية يختلف باختلاف تواترالصوت المسموع .
- تتعلق مساحة المنطقة الفعالة من غشاء الطبل بتواترالصوت المسموع وهذا بدوره يقود الى اعتماد ناقلية الأذن الوسطى على تواتر الصوت.
- بما أن نقل الصوت عبر الأذن الوسطى يعتمد على تواتره، فان عمل الاذن الوسطى كناقل للاهتزازات الصوتية لا يمكن تقديره أو التعبيرعنه برقم واحد ثابت بل يجب التعبير عن نسبة نقل الصوت في الأذن الوسطى على انه تابع للتواتر، وهو ما يسمى وظيفة النقل (التحويل) Transformation.

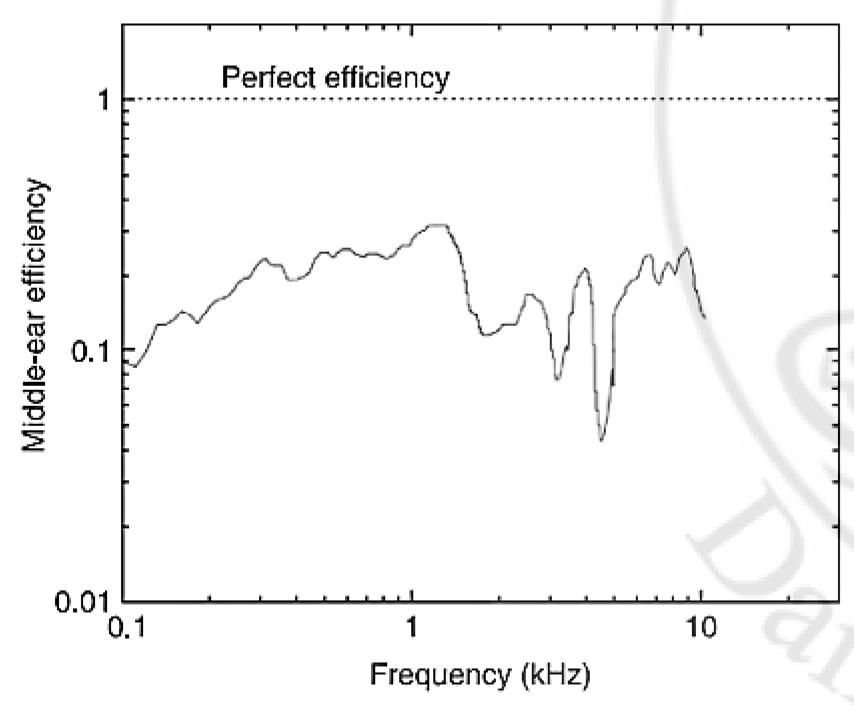


FIGURE 2.9 The efficiency of the cat's middle ear, showing the fraction of sound power entering the middle ear that is delivered to the cochlea (after Rosowski, 1991, with permission from the American Institute of Physics).

تجارب على الحيوانات المخدرة والجثث البشرية

- إن تقدير الكسب الذي تحرزه الأذن الوسطى يختلف باختلاف الأبحاث المجراة حيث لوحظ وجود اختلافات جوهرية بين النتائج التي تم الحصول عليها بين البشر و الحيوانات .
- إن كفاءة النقل في الأذن الوسطى البشرية الكلية هي حوالي 10 ديسيبل تقريبًا أقل من القدرة المثالية لنقل الترددات حتى 200 هرتز وإن أعلى كفاءة لها قد تم الوصول إليها هي حول التواتر1 كيلو هرتز حيث تكون حوالي 3 ديسيبل أقل من المعاوقة المثالية للنقل.
- هذا يعني أن الأذن الوسطى تنقل ما يقارب ثلث الطاقة الصوتية إلى القوقعة في نطاق هذا التواتر.
- أظهرت التجارب على القطط أنه فوق تواتر ال 1.5 كيلو هرتز تختلف الكفاءة في النقل (كنسبة مئوية من الطاقة المنقولة إلى القوقعة) حوالي 20٪ عنها عند التواتر 4 كيلو هرتز مما يعني ضياع في الطاقة حدود 7 - 14 ديسيبل).

تجارب على الحيوانات المخدرة والجثث البشرية

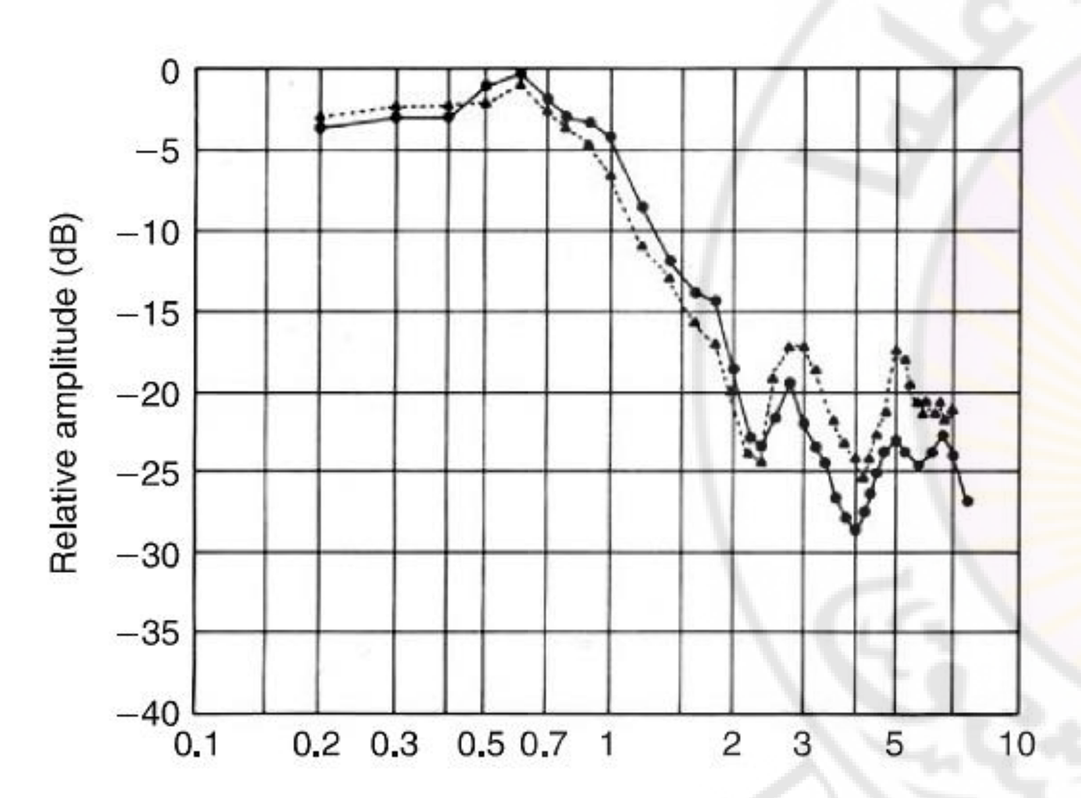
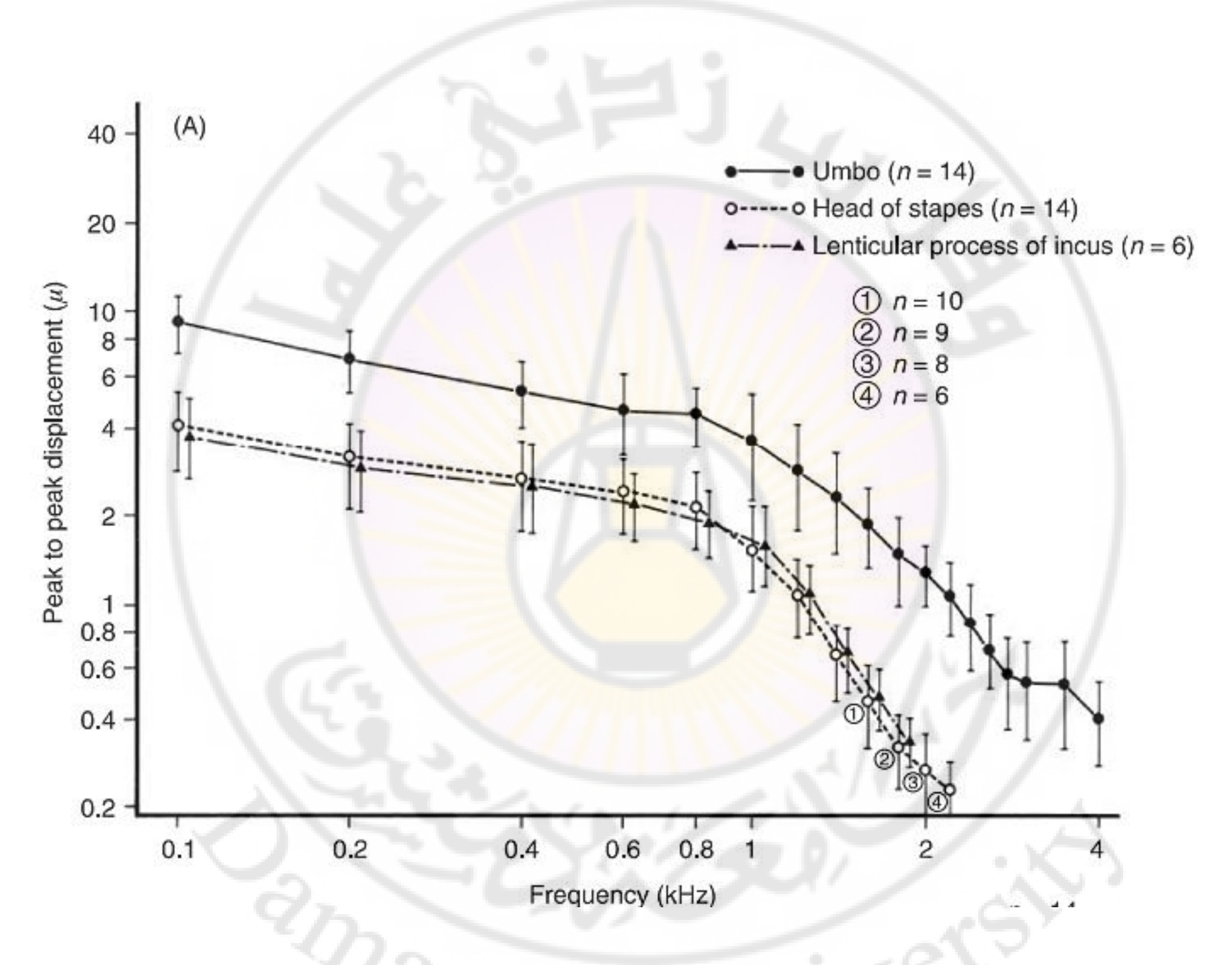


FIGURE 2.11 Vibration amplitude of the round window (circles and solid lines) and the incus (triangles and dashed lines) of the ear of a cat, for constant sound pressure at the tympanic membrane. The vibration amplitude was measured using a capacitive probe (from Møller, 1983; based on Møller, 1963, with permission from the American Institute of Physics).

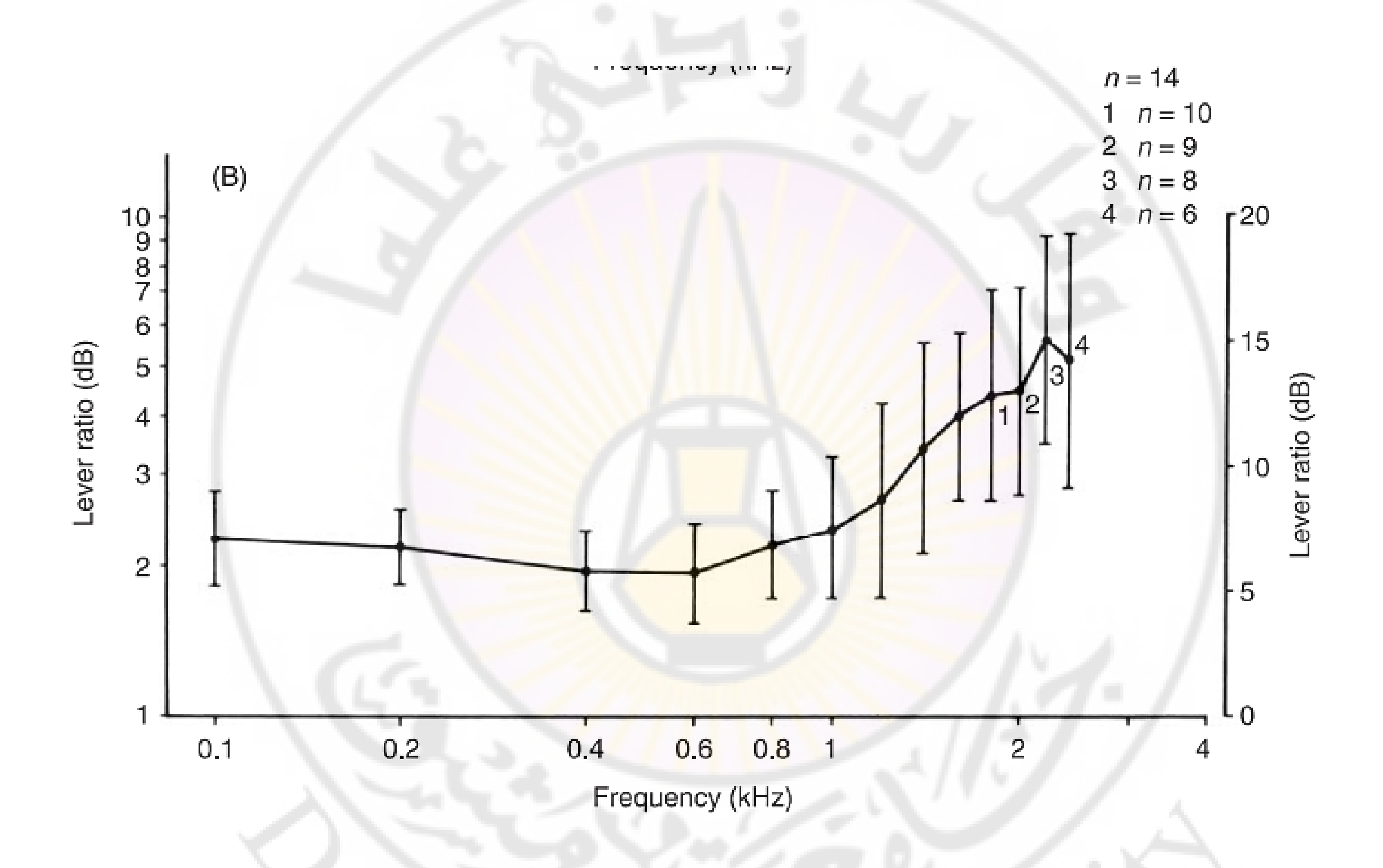
- في التجارب المذكورة أعلاه، تم ايصال المنبه الصوتي إلى نافذة واحدة فقط من نافذتي القوقعة في وقت واحد كما يحدث في الحالة الفزيولوجية حيث يصل الصوت إلى النافذة البيضية.
- لو أن الصوت تم ايصاله الى جوف الاذن الوسطى سينكون امام وضع مختلف حيث ان الصوت سيتوزع على النافذتين البيضية و المدورة بنفس الشدة تقريبا.
- إن القياس المباشر لنقل الصوت عبر الاذن الوسطى كتابع للتواتر تمت تجربته لدى حيوانات تم تخديرها و كذلك على جثث البشر. لقد تمت دراسة وظيفة النقل عبر الاذن الوسطى عند الفئران المخدرة بقياس مدى (سعة) اهتزاز الركابة باستخدام مجهر مزود باضاءة ستروبوسكوب او باستخدام بروب سعوي لقياس اهتزاز النافذة المدورة

وظيفة النقل للأذن الوسطى البشرية

- تختلف الأذن الوسطى عند البشر عنها عند الحيوانات، وهي التي تستخدم عادة في التجارب السمعية، وهذا يجعل من المهم التمييز بين النتائج التي تم الحصول عليها بين البشر والحيوانات.
- إن اول الدراسات حول وظيفة النقل في الاذن الوسطى تمت من قبل فون بيكسي عام 1941. حيث تقتصر دراسة وظيفة نقل الأذن الوسطى البشرية على الدراسات في الجثث.
- إن سعة اهتزاز العظيمات السمعية ثابت تقريبا عند التواترات المنخفضة حتى 900 هرتز. هذه النتائج مشابهة لتلك التي تم الحصول عليها من قبل فون بيكيسي قبل 50 عامًا تقريبًا.وان هذا التشابه بين هذه النتائج وتلك التي تم الحصول عليها باستخدام التقنيات الحديثة ملفت للنظر في ضوء الصعوبات التقنية المرتبطة بهذا القياس في ذلك الوقت الذي أجرى فيه فون بيكيسي هذه الدراسات.
- أي اختلاف في نتائج الدراسات المختلفة يمكن أن يعزى للاختلاف في طبيعة غشاء الطبل بين الأشخاص.
- إن الاختلافات في نتائج دراسات وظيفة الاذن الوسطى تشير الى ان هذه الوظيفة اعقد من ان يتم التعبير عنها تبعا لبعض العوامل كالكتلة و الصلابة لذلك فقد نشأت عدة نماذج للاذن الوسطى خلال العقود الأخيرة للتعبير عن هذا التعقيد.



شكل يوضح النسبة بين سعة الاهتزاز للعظميات (السرة والركابة) في اذن الجثة البشرية و ضغط الصوت بجانب غشاء الطبل.



شكل يوضح نسبة تأثير الرافعة مقابل موجة صوتية ذات ضغط 124 ديسبل spl بجانب غشاء الطبل.

المعاوقة السمعية للأذن الوسطى

- إن المعاوقة السمعية للأذن تعبر عن مقاومة غشاء الطبل للاستجابة للمنبه الصوتي.
- إن دراسة المعاوقة السمعية للأذن يمكنها أن تعطي لمحة هامة حول عمل الأذن الوسطى تتضمن دور كل من أجزاء الأذن الوسطى لإيصال الاهتزازت إلى سائل اللمف.
- إن دراسة المعاوقة السمعية للأذن مهم أيضا لدراسة أمراض الأذن الوسطى حيث أنه لا يقتصر على البحث العلمي و إنما يتعداه إلى الممارسة السريرية الروتينية حيث أن اختبار مخطط الطبلة Tympanometry يستخدم في العيادات لتقييم وظيفة الأذن الوسطى و تحديد ضغط الهواء في جوف الاذن الوسطى.
- كما ان قياس التبدلات في معاوقة الاذن الوسطى السمعية يستخدم لتسجيل تقلصات عضلات الاذن الوسطى و هذا ما يعرف بمنعكس الركابة وله استخداماته في تشخيص الاضطرابات الاذنية العصبية.

Immittance العبور

- وهو مصطلح يمثل مركبا لمفهومين أساسيين في علم الصوتيات وهما المعاوقة Impedance والقبول أو التسهيل Admittance.
- Acoustic Immittance: وهي مفهوم يعبر عن كمية طاقة الصوت التي تعبر الوسط بغض النظر عن طريقة قياسها.
- المعاوقة السمعية Acoustic impedance: وهي ممانعة الأذن الوسطى لعبور الصوت خلالها إلى حد معين.
- القبول Acoustic Admittance: وهي كمية الطاقة المنتقلة من اهتزاز غشاء الطبل بفعل تغيرات ضغط الموجة الصوتية والواصلة إلى الحلزون وتسبب حركة السوائل فيه. (أي مقدار الطاقة الواصلة من الموجة الصوتية عبر الأذن الوسطى).
- المطاوعة Compliance: وهي خصائص الأذن الوسطى التي تيسر انتقال الصوت عبرها.
- خلاصة عمليتي الممانعة والتسهيل تحدد كمية أو مقدار الطاقة الصوتية التي تعبر الأذن الوسطى وتقدم للأذن الداخلية.

العلاقة بين المفاهيم السابقة

Immittance Relationships

	Probe tone energy passed	Probe tone energy reflected	Compliance
High impedance	Low	High	Low
Low impedance	High	Low	High

ما هي المعاوقة السمعية؟

- **المعاوقة السمعية** هي ممانعة الوسط لحركة الموجة الطولية.
- يعتمد مقدار المعاوقة على كل من خصائص الوسط ونوع الموجة المنتشرة عبره. وهي تميز العلاقة بين ضغط الصوت المطبق وسرعة الجسيم الناتجة عنه و تسمى هذه الممانعة بالمعاوقة الصوتية النوعية (Specific acoustic impedance) للوسط لأنها تميز الوسط نفسه.
- بماذا يذكر هذا النموذج؟

$$z(x) = \frac{p(x)}{u(x)}$$

Air Pressure

Specific Acoustic Impedance

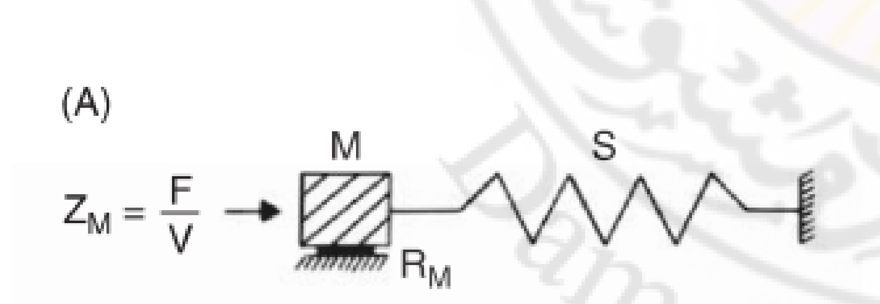
Longitudinal Particle Velocity

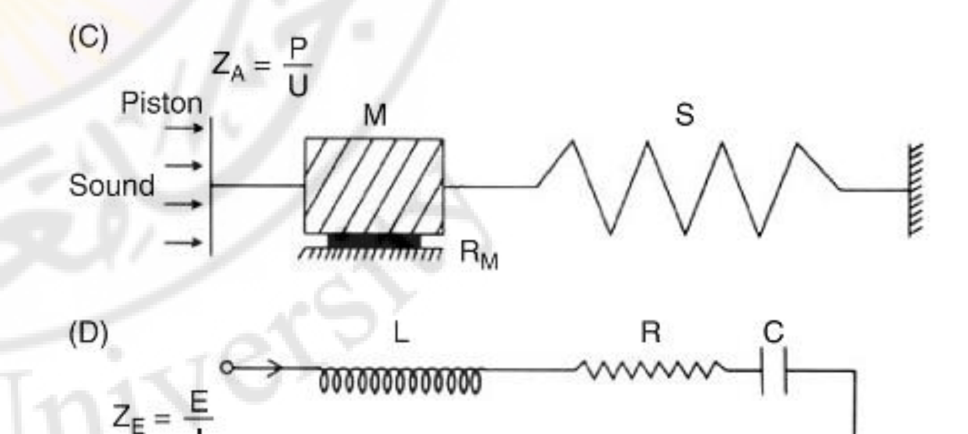
تمثيل المعاوقة السمعية وفق نموذج كهربائي

- يمكن تشبيه النموذج الميكانيكي لآليات الأذن الوسطى وفق النموذج الكهربائي.
- في الدارات الكهربائية لدينا التيار الكهربائي – المقاومة والفولتاج.
- يمكن تمثيل سرعة الاهتزاز بالتيار الكهربائي، الفولتاج بالقوى الميكانيكية، والمعاوقة أو الاحتكاك بالمقاومة الكهربائية.
- في أجزاء المعاوقة تشابه قوى الاحتكاك Friction المقاومة الكهربائية والكتلة Inertia تقابل الناقلية ، والمرونة Elasticity كأثر النابض تشابه السعة أو المكثفة Capacitance.
- في النظام الصوتي: يقابل التيار سرعة النقل أو سرعة الحجم volume velocity، أما ضغط الموجة الصوتية فيقابل الفولتاج، في حين تقابل قوى الاحتكاك المقاومة الكهربائية (V= Z*I).

تمثيل المعاوقة السمعية وفق نموذج ميكانيكي

- عند تمثيل المعاوقة السمعية حسبما تم شرحه، نجد ان الأذن الوسطى بآلياتها تتحول إلى نظام ناقل صوتي يطبق قوة ميكانيكية على الحلزون، وأن هذه القوة تصل إليه من خلال حركة بستونية لغشاء الطبل على الكتلة الأساسية Mass، وبالتالي في حال كانت حركة غشاء الطبل بستونية بشكل مثالي سنجد أن المعاوقة الميكانيكية هي عبارة عن المعاوقة الصوتية مقسمة على مساحة غشاء الطبل.
- وبالتالي لفهم العلاقة بين المعاوقة السمعية والآليات الميكانيكية في الأذن الوسطى يجب تصميم نموذج يحقق كامل محتويات هذا النظام وهي: الكتلة، الاحتكاك، المرونة أو النابض، والبستون كما في الشكل أدناه.



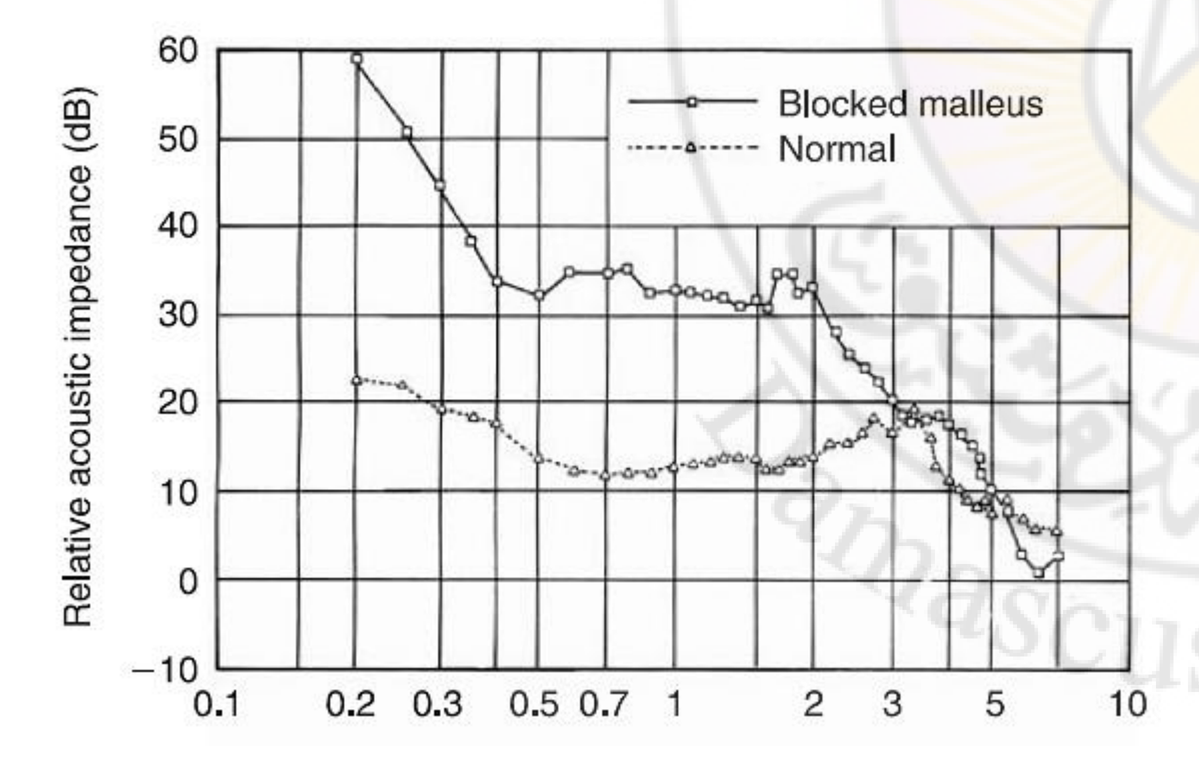


مكونات المعاوقة السمعية

- يعرف التسهيل أو الناقلية admittance, Y, بأنها معكوس المعاوقة impedance, 1/Z. وتعرف أيضا بالمطاوعة compliance.
- كهربائيا تعرف الناقلية أو المطاوعة بمقدار التسهيل أمام جريان التيار واما ميكانيكيا فهي تعبر عن مقدار السهولة في إطلاق الاهتزاز في جسم ميكانيكي بفعل قوة خارجية.
- كهربائيا تعرف الناقلية بأنها حاصل قسمة الجريان على الفولتاج، أما ميكانيكيا فهي حاصل قسمة سرعة الاهتزاز على القوة.
- المطاوعة الصوتية هي حاصل قسمة السرعة الحجمية Volume Velocity على ضغط الصوت.
- في الواقع لكل وسط ميكانيكي ناقليته النوعية التي يمكن قياسها وفق ماسبق ذكره، ولكن في الأذن الوسطى إن هذه القياسات لن تكون واقعية ومفيدة سريريا سواء بالدراسات الحيوانية أو على البشر إلا إذا تم دراستها وظيفيا بالمقارنة مع العوامل والأليات الأخرى في الأذن الوسطى كضغط الهواء وحجم الجوف وأي آلية غمراضية أخرى تؤثر على الكتلة أو القساوة.
- كل هذه التفاصيل سيتم دراستها والتوسع بها في الفصل القادم في مقرر المعاوقة السمعية وقياس الطبلة.

دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

- تمت دراسة هذا الدور عند الحيوانات بسبب الإمكانية المحدودة لإجراء هذه الدراسات عند البشر . إن انعدام حركية عظيمات السمع الذي يحدث لدى مرضى تصلب العظيمات تم استخدامه لوضع نماذج كهربية و رياضية للاذن الوسطى البشرية.
- تمت دراسة خصائص غشاء الطبل بقياس معاوقة الاذن عند منع الاهتزاز من الوصول إلى قبضة المطرقة بالتالي تعبر معاوقة الاذن عندها عن غشاء الطبل بذاته.
- عند القطط، تكون المعاوقة الصوتية لغشاء الطبل مع تثبيت المطرقة عالية جدًا للتواترات التي تقل عن 3 كيلو هرتز مما يشير إلى أنه يعمل بطريقة مماثلة لبستون صلب عند هذه التواترات.



دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

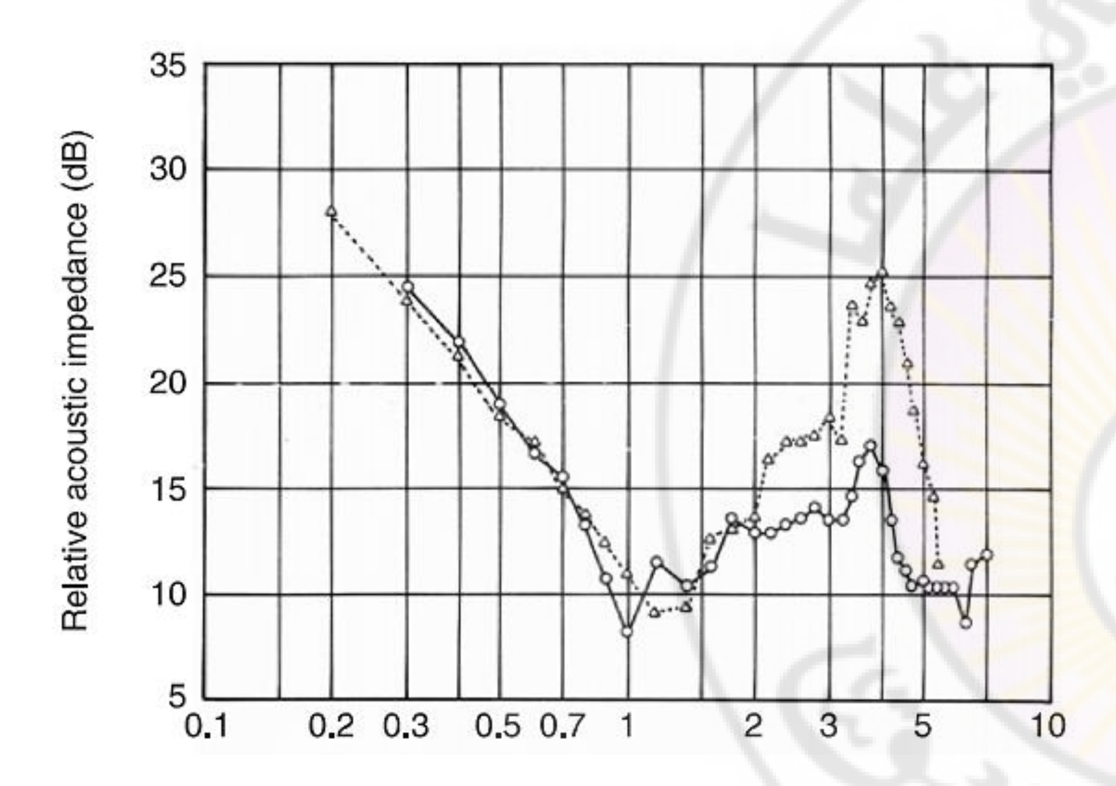
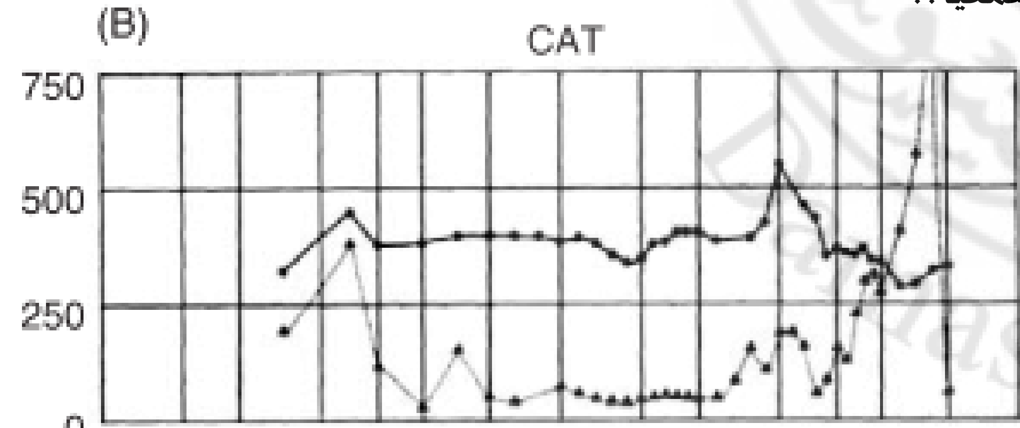


FIGURE 2.18 Comparison of the acoustic impedance at the tympanic membrane with the inverse velocity of the malleus for constant sound pressure at the tympanic membrane in a cat. The impedance is given in decibels relative to 100 cgs units and the inverse vibration velocity is given in arbitrary decibel values. Circles = accoustic impedance at the tympanic membrane; triangles = sound pressure at the tympanic membrane divided by the veloicty of the malleus (reprinted from Møller, 1963, with permission from the American Institute of Physics).

- إن مقارنة المعاوقة السمعية للأذن مع سرعة اهتزاز المطرقة عند التعرض لضغط صوتي ثابت تعطي معلومات حول قدرة غشاء الطبل على تحويل الصوت الى اهتزازات لقبضة المطرقة.
- ان المخططين في الشكل يظهران أن المعاوقة السمعية و مقلوب السرعة (كفهوم معاكس للاهتزاز) لمطرقة أذن القطة يكونان متطابقين عند سماع الأصوات ذات التواتر المنخفض (حتى 2 كيلوهرتز تقريبا) و يفترقان على التواترات الأعلى مما يشير الى أن غشاء الطبل يعمل بشكل مشابه للبستون الصلب للتواترات الأقل من 2 كيلو هرتز.
- طبعا هذه النتائج لايمكن تعميمها على الأذن البشرية بسبب اختلاف طبيعة وقساوة ونمط اهتزاز غشاء الطبل بين البشر والقطط.

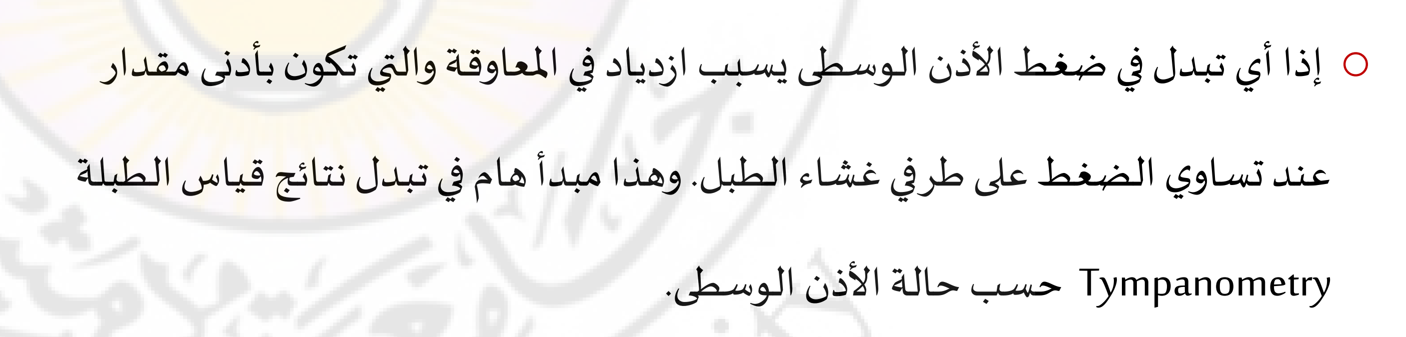
دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

- بينت الدراسات على الأذن البشرية عند الجثة بأن الأصوات ذات التواتر المرتفع تحرك مساحة أقل من غشاء الطبل نسبة بالأصوات ذات التواتر المنخفض. وبالتالي يكون الدور المعاوق لغشاء الطبل أكبر على التواترات المرتفعة منها في المنخفضة (العلاقة بين المعاوقة النوعية ومساحة غشاء الطبل الفعالة).
- في تجارب على الأرانب والقطط تم إجراء تفريق اتصال بين السندان والركابة مما تسبب بنقص كبير في المعاوقة على التواترات أقل من 4000 هرتز لقيم صغيرة جدا (انظر الشكل) مما يؤكد أن العامل الأساسي لقوى الاحتكاك المعيقة يتمثل في سوائل الحلزون وما تطبقه من احتكاك عبر الركابة على السلسلة العظمية. في حين يبدو تأثير هذا القطع على التواترات أعلى من 4 كيلوهرتز معقدا وغير مفهوما بل ومعكوسا أحيانا.
- إن إزالة الاحتكاك من الأذن الوسطى يجعلها وسطا رنانا بشكل ملحوظ. فهل هذا مفيد سمعيا؟!

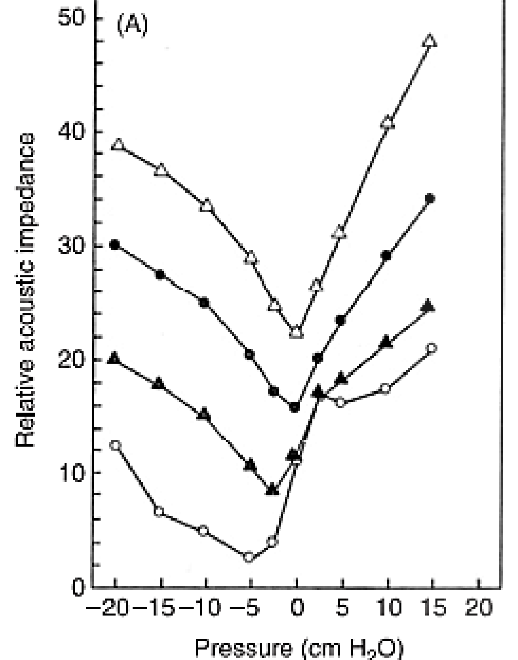


دور كل من الأجزاء المختلفة للاذن الوسطى في معاوقتها

- أظهرت التجارب على الحيوانات أن المكون التفاعلي لمعاوقة الاذن للاصوات ذات التواترات الأقل من 3 كيلوهرتز ينقص عند فتح جوف الاذن الوسطى و هذا يعود لأن جوف الاذن الوسطى يضيف قساوة للاذن الوسطى. إن ضغط الهواء في الاذن الوسطى يكون مماثلا للضغط المحيط و تتم المحافظة على هذا التساوي بالضغوط عبر نفير اوستاش و عندما يحدث اختلاف في الضغط على جانبي غشاء الطبل تضطرب وظيفة الاذن الوسطى مسببة نقصا في نقل الاهتزازات الى القوقعة و تتغير المعاوقة السمعية.
- يكون تأثير تبدل الضغط في الأذن الوسطى أكثر وضوحا على الأصوات ذات التواتر المنخفض مقارنة بالاصوات ذات التواتر المرتفع و هو أكبر عند وجود ضغط سلبي في الاذن الوسطى مقارنة بوجود ضغط إيجابي (مقارنة بضغط مجرى السمع الظاهر).



- إذا أي تبدل في ضغط الأذن الوسطى يسبب ازدياد في المعاوقة والتي تكون بأدنى مقدار عند تساوي الضغط على طرفي غشاء الطبل. وهذا مبدأ هام في تبدل نتائج قياس الطبلة Tympanometry حسب حالة الأذن الوسطى.



Open triangles = 0.5 kHz; filled circles = 1 kHz; filled triangles = 2 kHz; open circles = 3 kHz

دور عضلات الأذن الوسطى

- تنقبض عضلات الأذن الوسطى عادةً كرد فعل للصوت المرتفع الشدة يسمى المنعكس السمعي Acoustic Reflex.
- إن انقباض العضلة موترة الطبلة يسحب قبضة المطرقة إلى الداخل، مما يزيد من صلابة الأذن الوسطى و يسبب انزياح غشاء الطبل إلى الانسي.
- بينما تسحب العضلة الركابية الركابة في الاتجاه الذي هو عمودي على حركتها البستونية الشكل مما يتسبب في حركة انزلاقية في المفصل السنداني الركابي.
- إن هاتين الآليتين تسميات آليات توهين الصوت في الأذن الوسطى وتعملان بشكل انعكاسي بهدف حماية الأذن من انتقال الأصوات الشديدة إلى الحلزون وحدوث أذية سمعيا ولكن في الحقيقة لهما دور مفصل أبعد من ذلك يتم دراسته في مقرر لاحق.
- أظهرت الدراسات الحيوانية بأن تقلص العضلة موترة الطبلة يسبب انسحاب غشاء الطبل للداخل وإنقاص نقل الصوت وزيادة المعاوقة في الأذن الوسطى. في حين يؤدي تقلص العضلة الركابية إلى نقصان النقل وزيادة المعاوقة بدون التأثير على حركية غشاء الطبل.

دور عضلات الأذن الوسطى

- إن تقلص العضلتين معا يسبب ازدياد كبير في المعاوقة دون تأثر مهم في حركة غشاء الطبل بسبب معاكسة عمل الركابية لموترة الطبلة في تحريكه.
- تتقلص العضلة موترة الطبلة مع البلع وانفتاح نفير اوستاش لتسهل تبدل الهواء في الأذن الوسطى وتعويض الأكسجين الممتص من المخاطية.
- يكون تأثير تقلص العضلة الركابية أشد على التواترات المنخفضة للأصوات العادية في حين يمتد للتواترات المرتفعة أيضا للأصوات الشديدة.
- قد يكون للمنعكس الركابي على التواترات المنخفضة أهمية في عدم سماع الأصوات منخفضة التواتر داخل الرأس والتي من المفترض أنها مزعجة للشخص.
- قدرت التجارب الحيوانية على القطط بان مقدار التوهين الذي يؤمنه المنعكس الركابي يتراوح بين 8-10 ديسبل.



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 5

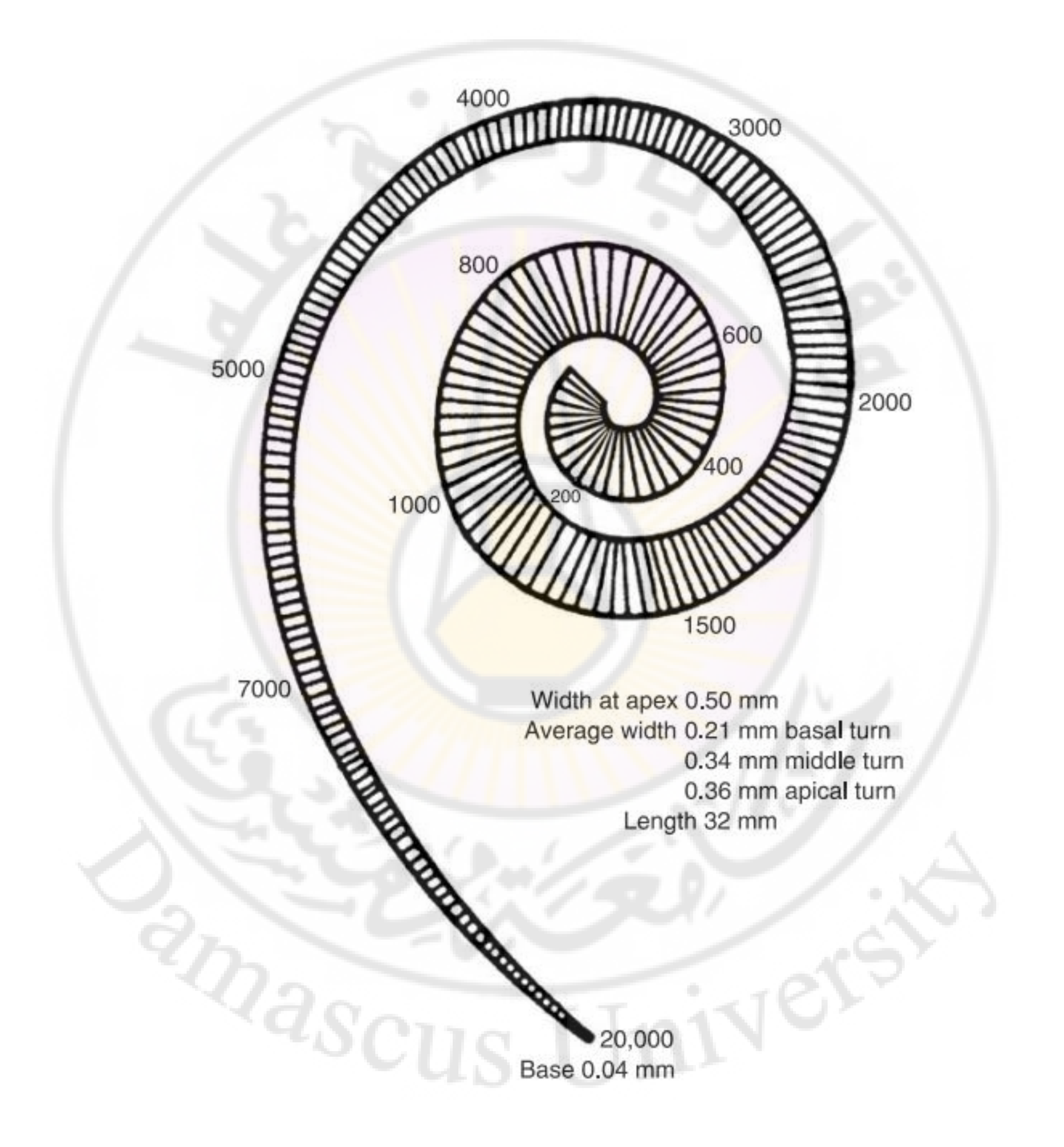
Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 3)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University
May 2022

وظيفة الأذن الداخلية

- يعتبر الحلزون من أكثر الأعضاء الحسية دقة وروعة في جسم الإنسان حيث أن هذا العضو الصغير بمكوناته المتناهية في صغر الحجم يقوم بوظيفة رائعة بكل إتقان ودقة على طول الحياة بدون تنكس يذكر ولو أن ضجيج الحياة الحديثة له أثر هام على هذه الوظيفة سيناقش لاحقا.
- يقوم الحلزون بكلتا وظيفتي التحليل الطيفي والزماني للإشارة الصوتية. حيث يقصد بالتحليل الطيفي المقدرة على استخلاص جميع التواترات المختلفة من الإشارة المعطاة. والتحليل الزماني يقوم على كشف أدق التغييرات في الإشارة السمعية خلال فواصل زمنية دقيقة جدا.
- يساعد الحلزون على إدراك رفعة الصوت Pitch وحدته Loudness وهي المرادفات الحسية Psychoacoustic لما يقوم الحلزون بتحليله من خصائص الإشارة الصوتية كالتواتر Frequency والمطال Amplitude يضاف إليها المحتويات الزمنية للإشارة Temporal aspects، تشكل هذه الآليات المرحلة الأولى للمعالجة السمعية Auditory Processing للإشارات الصوتية.



4000
3000
800
600
5000
2000
400
200
1000
1500
7000
Width at apex 0.50 mm
Average width 0.21 mm basal turn
0.34 mm middle turn
0.36 mm apical turn
Length 32 mm
20,000
Base 0.04 mm

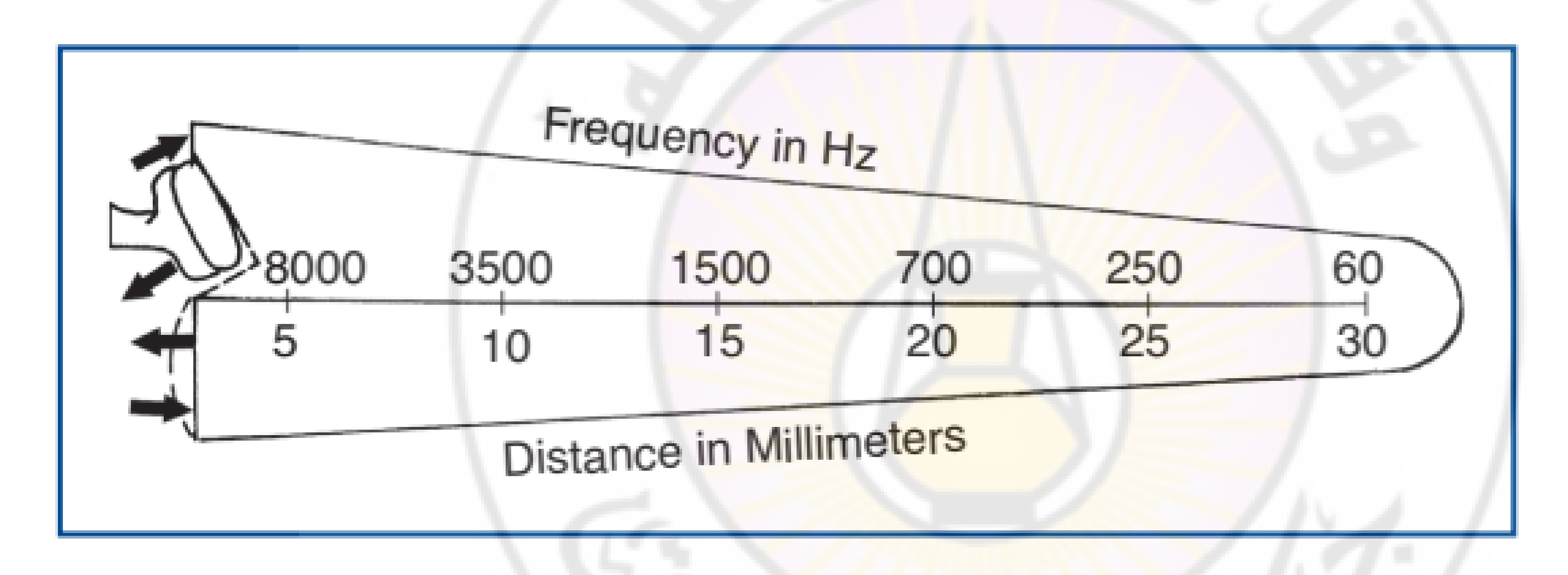
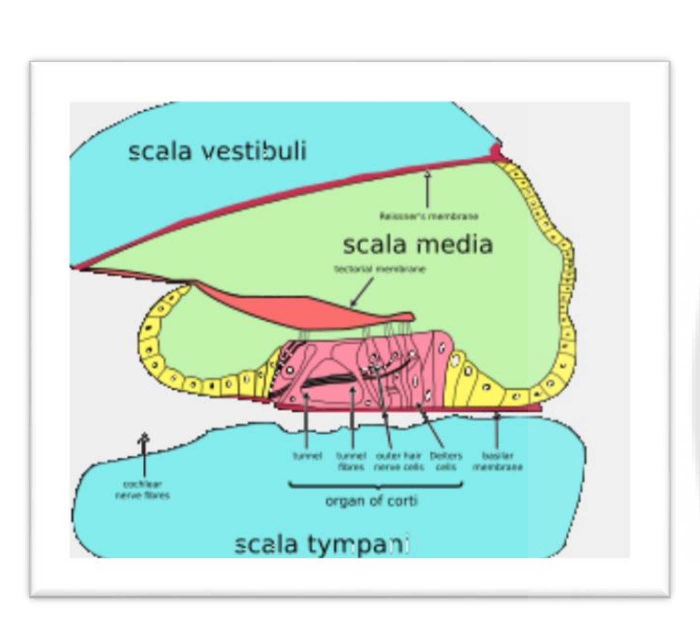


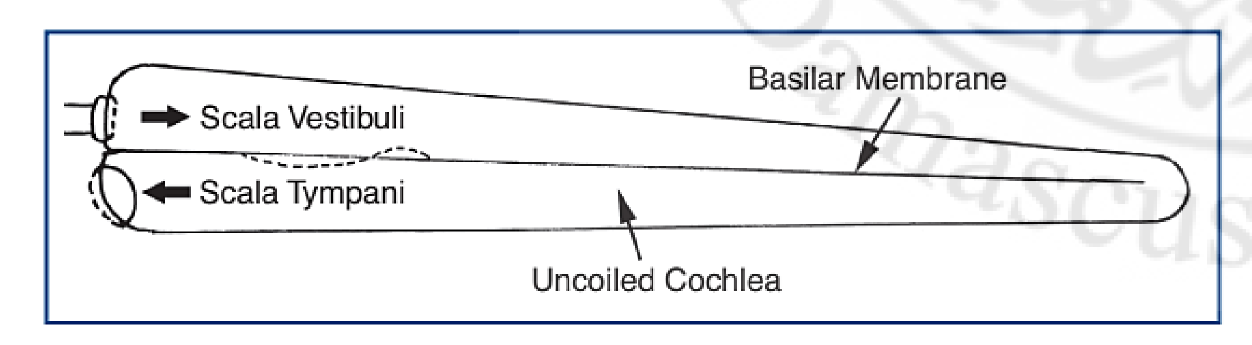
Figure 5–4. The frequency to distance relationship from the stapes to a place along the human basilar membrane.

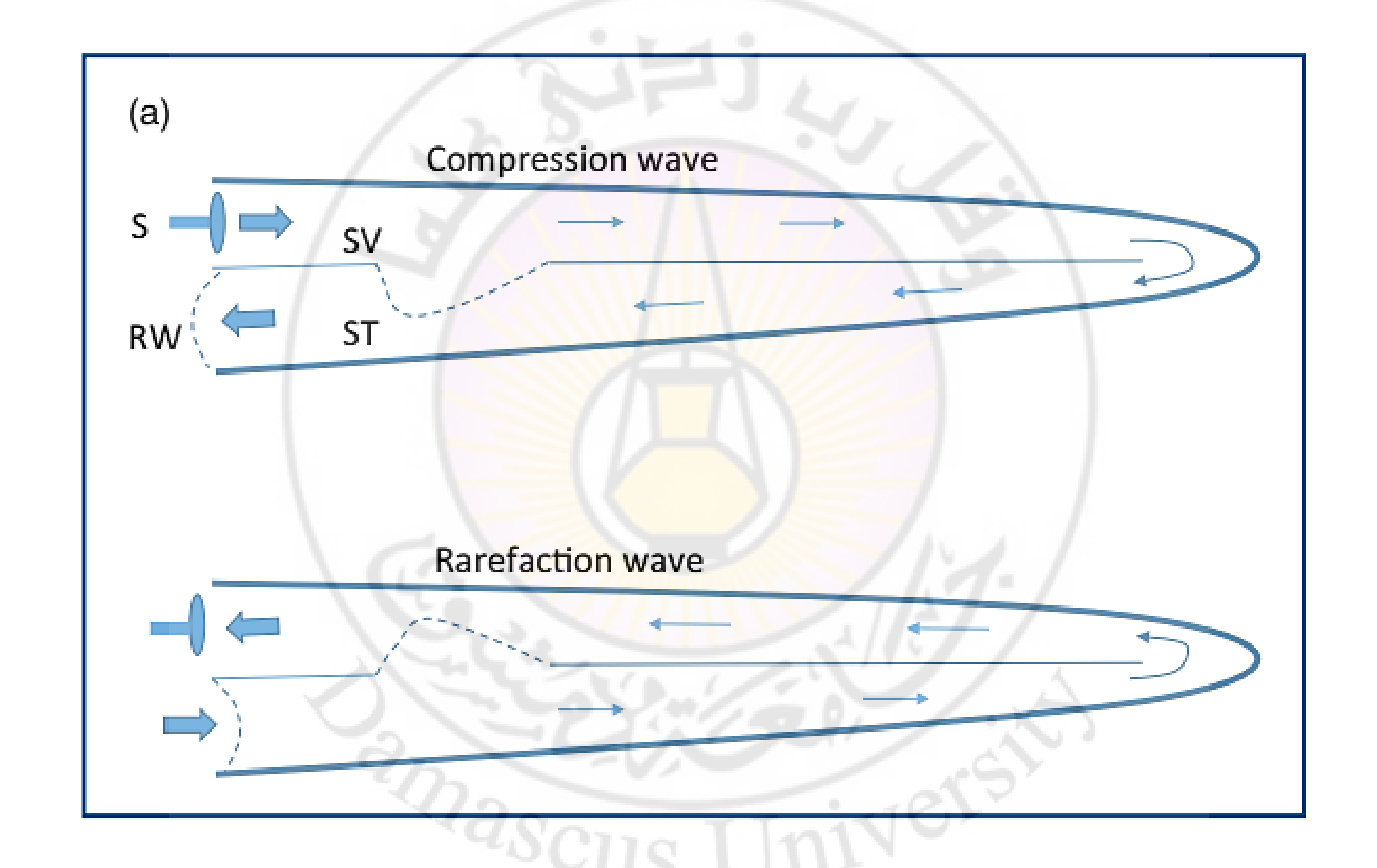
وظيفة الأذن الداخلية

- تنتقل الموجة الصوتية من خلال انزياح الذرات في الهواء مسببة حركة غشاء الطبل والعظيمات التي تنقل الاهتزازات الى النافذة البيضية عبر قاعدة الركابة Stapes Footplate، بحيث يحدث دفعها للداخل عندما تكون الموجة انضغاطية Condensation وسحبها للخارج عندما تكون انبساطية Rarefaction وعليه فإن كل التعقيد الموجود في الموجة الصوتية يتم ترجمته بشكل مباشر الى سوائل الحلزون توسط قاعدة الركابة.

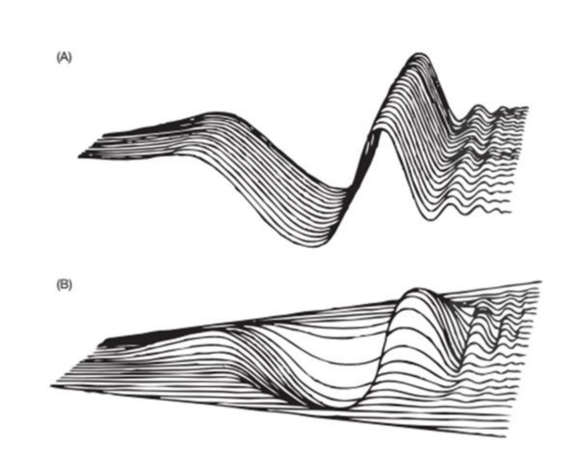


- عندما تضغط الركابة اللمف الباطن Perilymph في السقالة الدهليزية Scala Vestibuli فإن غشاء رايسنر Reissner's membrane يتمدد باتجاه السقالة الوسطى Scala media ويتمدد الغشاء القاعدي Basilar membrane باتجاه السقالة الطبلية Scala Tympani. وبالتالي فإن أي انضغاط للسوائل في السقالة يسبب انزياح مباشر للغشاء القاعدي.

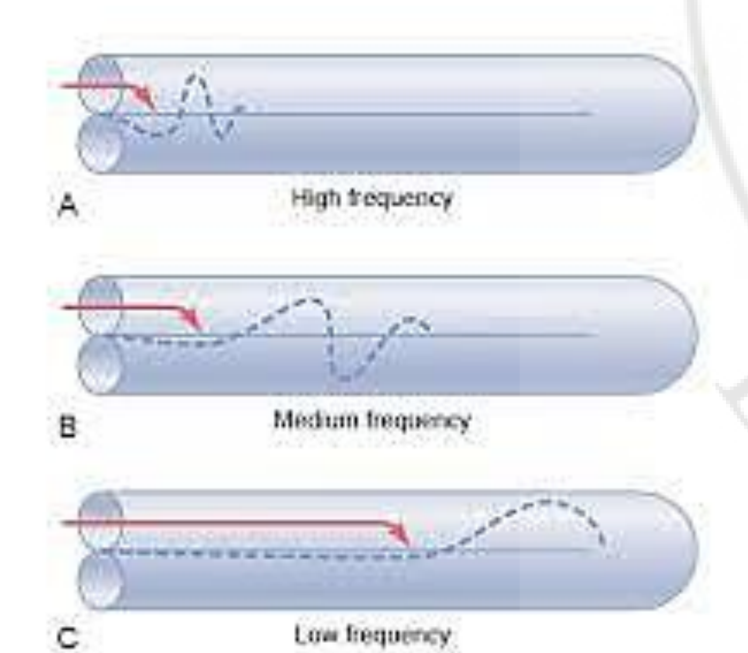


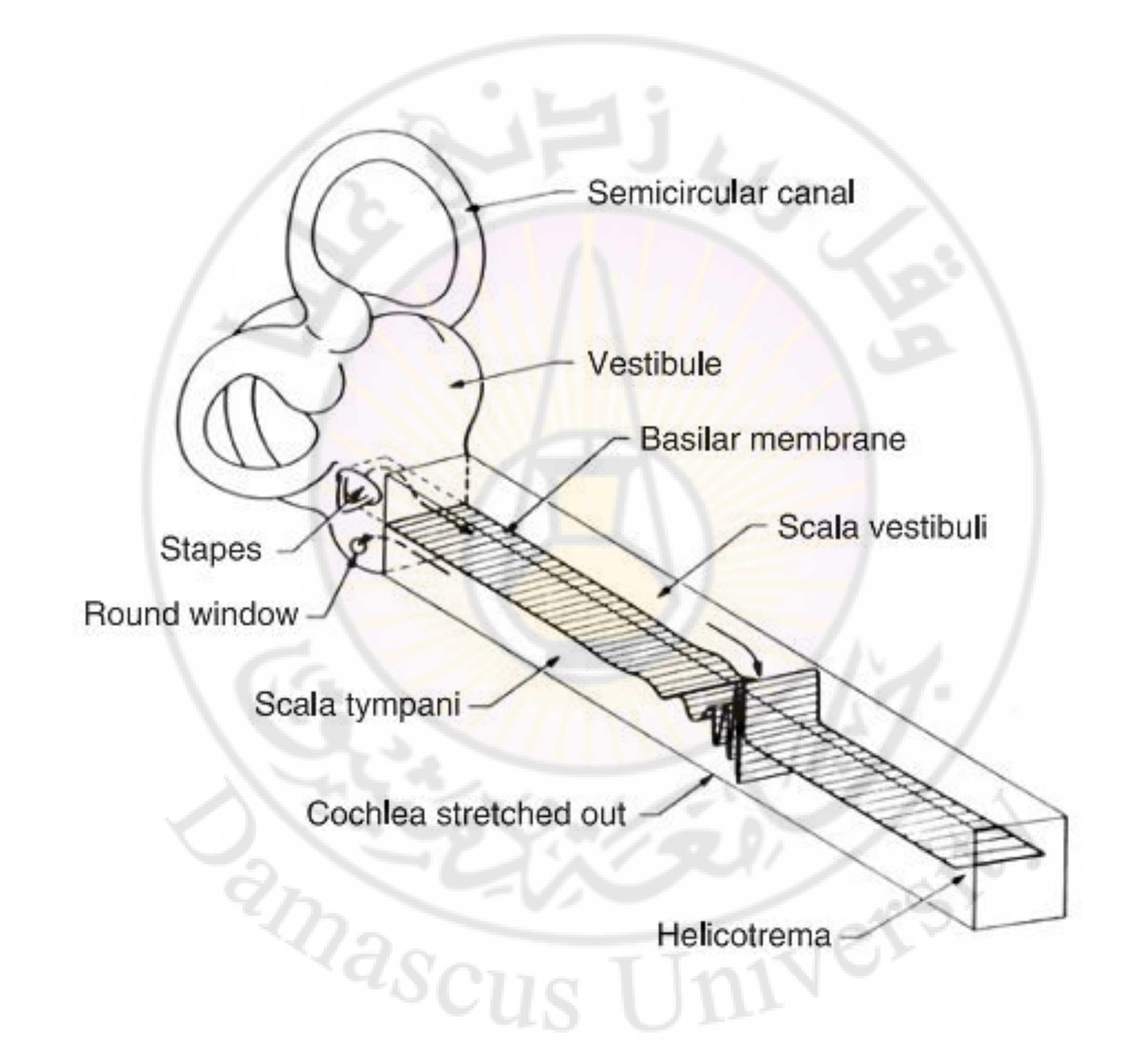

(a)
Compression wave
S
SV
RW
ST
Rarefaction wave

آلية الموجة المسافرة



- كما هو معروف فإن تواتر الصوت يحدد بعدد الذبذبات أو الاهتزازات في الثانية وبالتالي فإن إشارة صوتية تواترها 100 هرتز ستسبب حركة قاعدة الركابة (معقد غشاء الطبل - عظيمات - قاعدة الركابة) بمعدل ١٠٠ مرة بالثانية داخلاً وخارجاً وتنتقل هذه الحركة الدورية Periodic إلى الغشاء القاعدي حيث ينشأ ما يسمى بالموجة المسافرة Travelling wave.
- لقد اكتشف Bekesy أن الغشاء القاعدي مصمم لدعم وتسهيل تشكيل الموجة المسافرة الموافقة لتواتر اهتزاز الموجة الصوتية.
- عندما ترتطم الأصوات عالية التواتر بالأذن الداخلية فإن الجزء القاعدي للحلزون يقوم بالاهتزاز (قرب الدهليز)، في حين الأصوات منخفضة التواتر تسبب اهتزاز الغشاء القاعدي في الأجزاء الرأسية (قمة) الحلزون قاطعة مسافة طويلة على طول الغشاء القاعدي (الأمر يتعلق بطول الموجة والذي يتناسب عكساً مع التواتر).
- على هذا الأساس يقوم الموج المسافر بفصل المكونات التواترية للأصوات المركبة مكانياً حيث يعالج الأصوات عالية التواتر عند القاعدة و المنخفضة التواتر عند القمة (Apex).

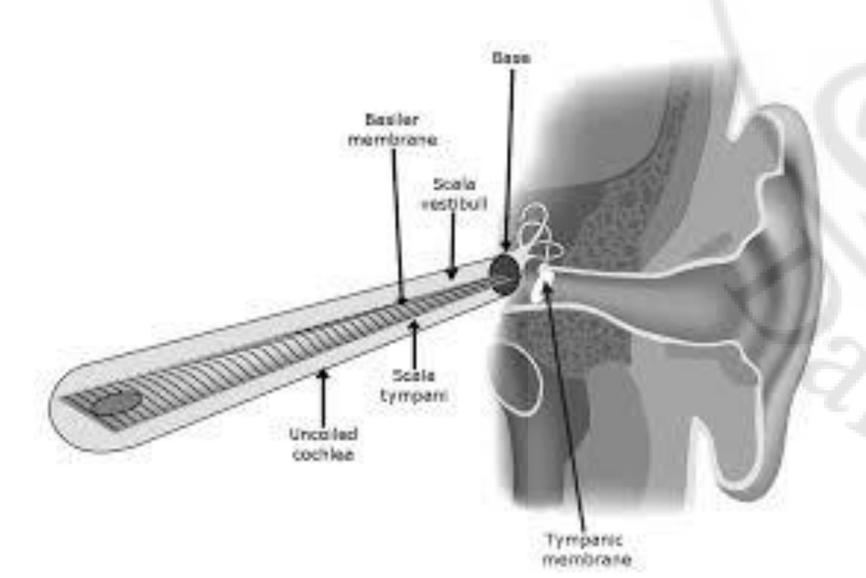


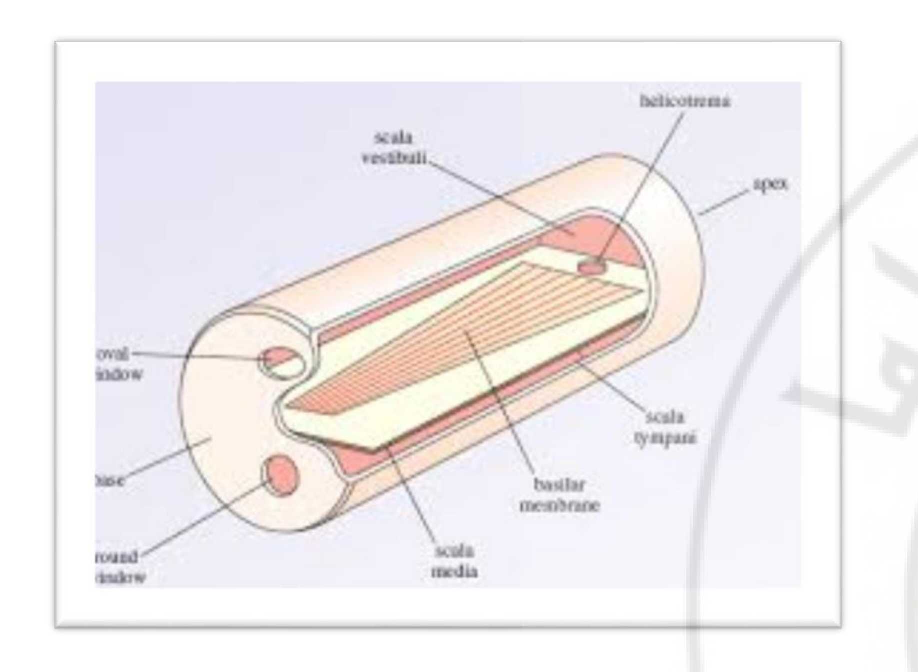

Semicircular canal
Vestibule
Basilar membrane
Scala vestibuli
Stapes
Round window
Scala tympani
Cochlea stretched out
Helicotrema

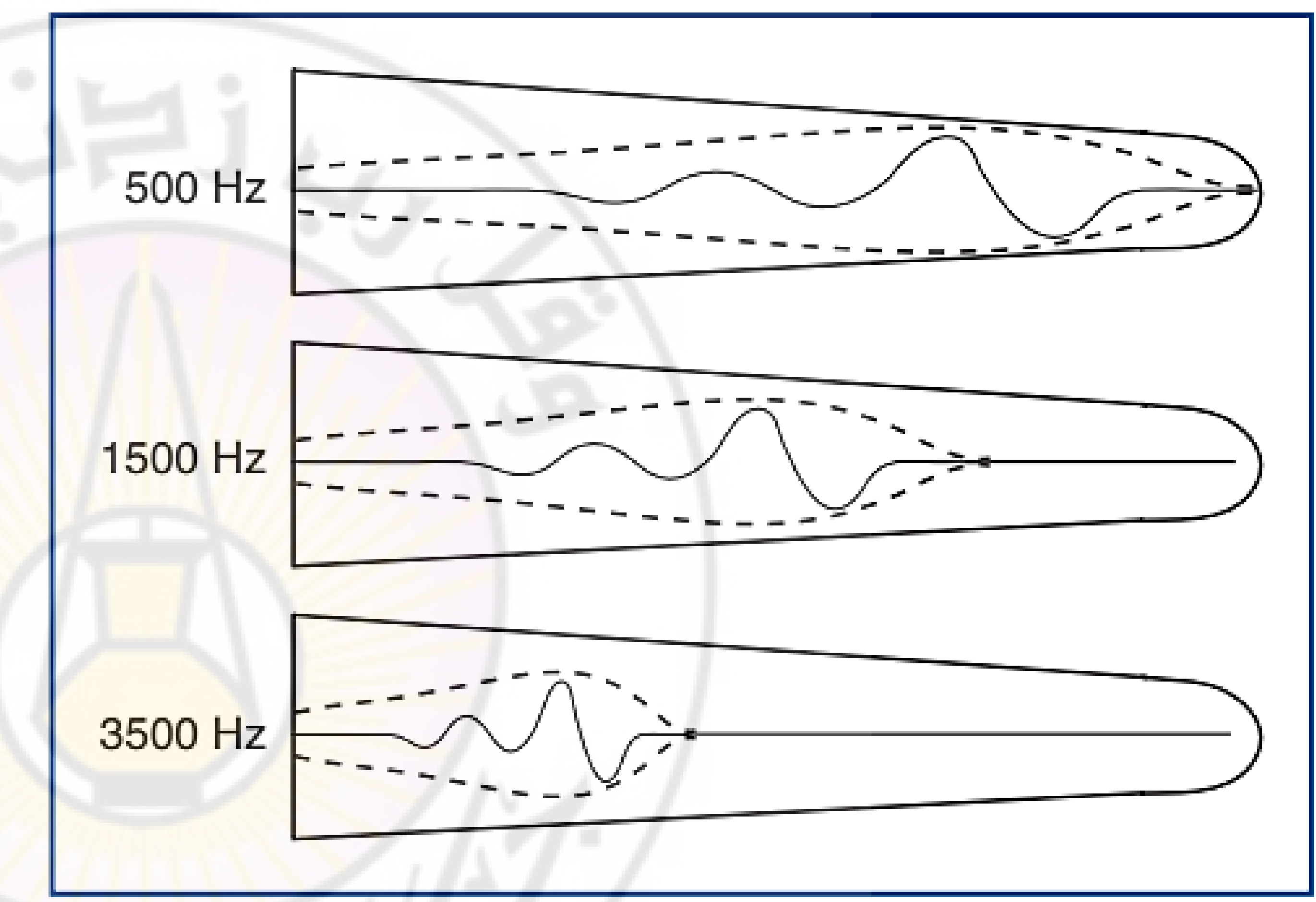
الموجة المسافرة وخصائص الغشاء القاعدي

- يمكن تشبيه الموج المسافر بأمواج البحر حيث تصل إلى أعلى ارتفاعها لتتخامد عند الشاطئ، كذلك الحال يبلغ الموج المسافر أعلى ذروة له على الغشاء القاعدي في نقطة معينة تشكل النقطة الأساسية لتفعيل الخلايا المشعرة داخل عضو كورتي ومنها النهايات العصبية. وعليه يمكن القول يتشكل الموج المسافر عند قاعدة الحلزون ويستمر بالتشكل والانتفاخ على طول الحلزون ليصل إلى نقطة يبلغ فيها أعلى ذروة له ثم يتخامد بسرعة وبشكل شبه نهائي بعد الذروة. وعليه فإن الأصوات منخفضة التواتر تسبب تكسر (تموّت) الموج المسافر عند ذروة الحلزون وأن النقطة التي تمثل أكبر انزياح للغشاء القاعدي تحدد المعلومات التواترية Frequency information والتي يتم توصيلها إلى الدماغ.

- يتعلق اهتزاز الغشاء القاعدي بدرجة القساوة stiffness حيث تكون القساوة أكثر ما يمكن عند القاعدة وتتناقص بشكل تدريجي منسق باتجاه القمة. يضاف إلى ذلك عامل الكتلة Mass حيث أنه كلما زادت الكتلة كلما نقص التواتر الطنيني وتتزايد كتلة الغشاء القاعدي تدريجياً من القاعدة إلى القمة. وأخيراً فإن الغشاء القاعدي يصبح أعرض Wider بالتدريج من القاعدة إلى القمة.

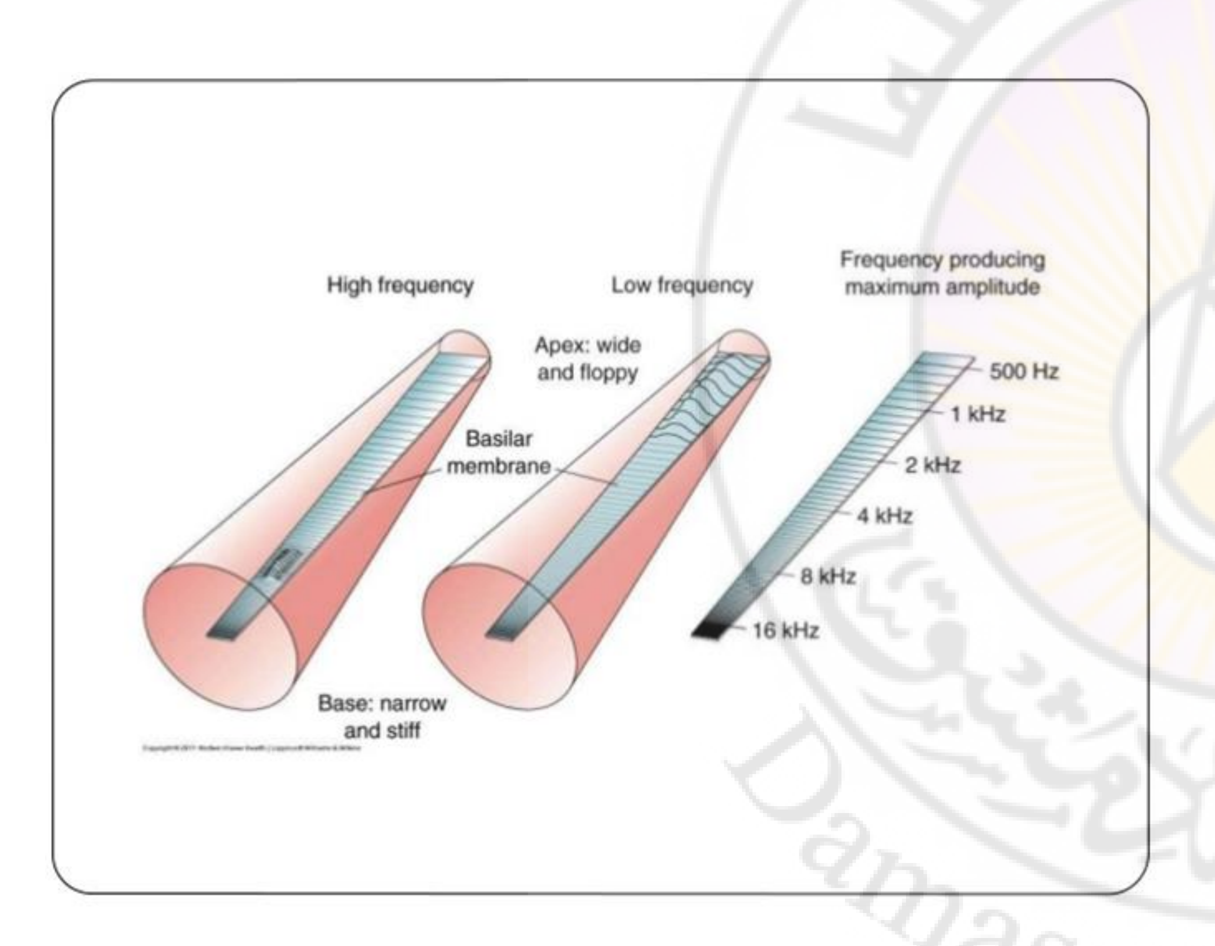



helicotrema
scala vestibuli
apex
oval
scala tympani
basilar membrane
round
scala media


500 Hz
1500 Hz
3500 Hz



خصائص الغشاء القاعدي



- وبالتالي هذه العناصر الثلاثة للغشاء القاعدي : القساوة – الكتلة و العرض مجتمعةً تجعل من الغشاء القاعدي محلل تواتري ممتاز Excellent Frequency Analyzer.
- ملاحظة هامة: أياً كانت نقطة بدء تشكّل الموجة المسافرة على طول الحلزون فإنّ اتجاه مسيرها يكون دائماً باتجاه القمة وذلك تبعاً للخصائص آنفة الذكر للغشاء القاعدي.

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي

تعتبر اللاخطية من أهم خصائص الغشاء القاعدي الحي والتي تقوم على مبدأ أن الاستجابة حول العتبة تكون نوعية للتواتر ومنحني الاستجابة يكون حادا وكلما ازدادت شدة المنبه تزداد الاستجابة تدريجيا ولكن يزداد عرض المنحني (نقص الدقة التواترية) إلى أن نصل لشدة معينة يبدأ عندها ضغط الاستجابة compression أي نجد مايشابه نقص في ذروة الاستجابة وزيادة واضحة في عرض المنحني. تبدأ هذه الخاصية في الغشاء القاعدي وتترسخ في وظيفة الخلايا المشعرة وألياف العصب السمعي وهي من أهم آليات الحلزون للتعامل مع تبدل شدة الصوت.

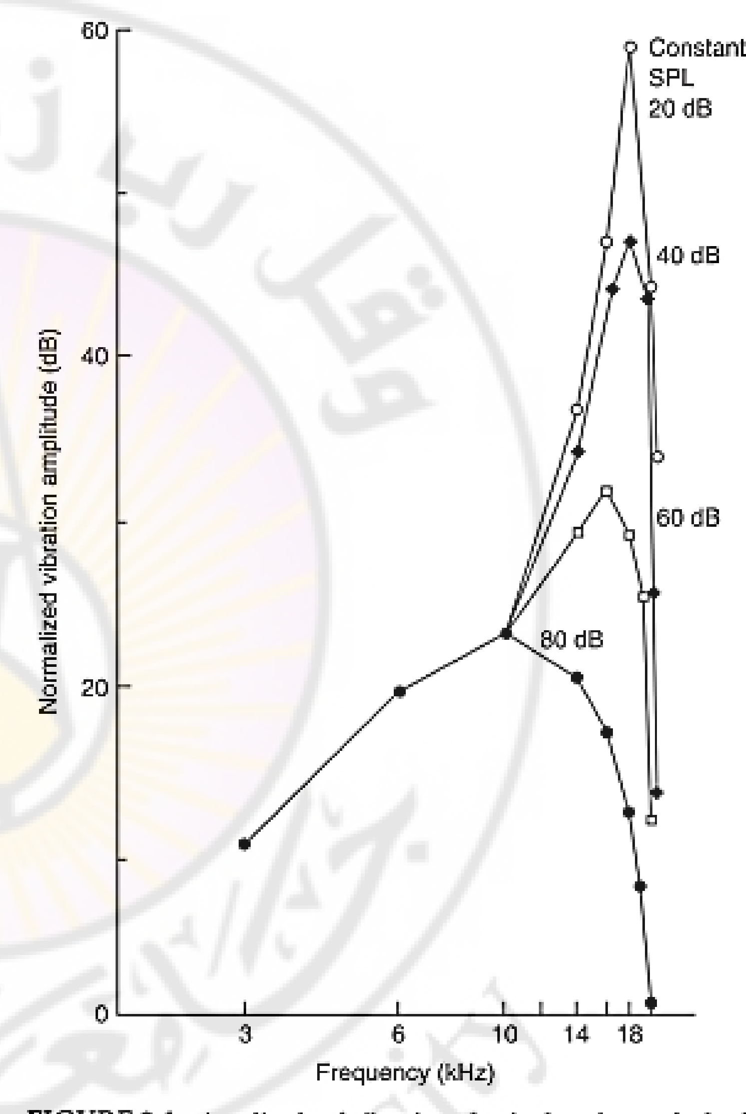


FIGURE 3.4 Amplitude of vibration of a single point on the basilar membrane in an anesthetized guinea pig in response to pure tones of 4 different intensities, at 20 dB intervals, as a function of the frequency. The curves were shifted so that they would have coincided if the cochlea had been a lines system (adapted from Johnstone et al., 1986).

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي
Cochlear Compression

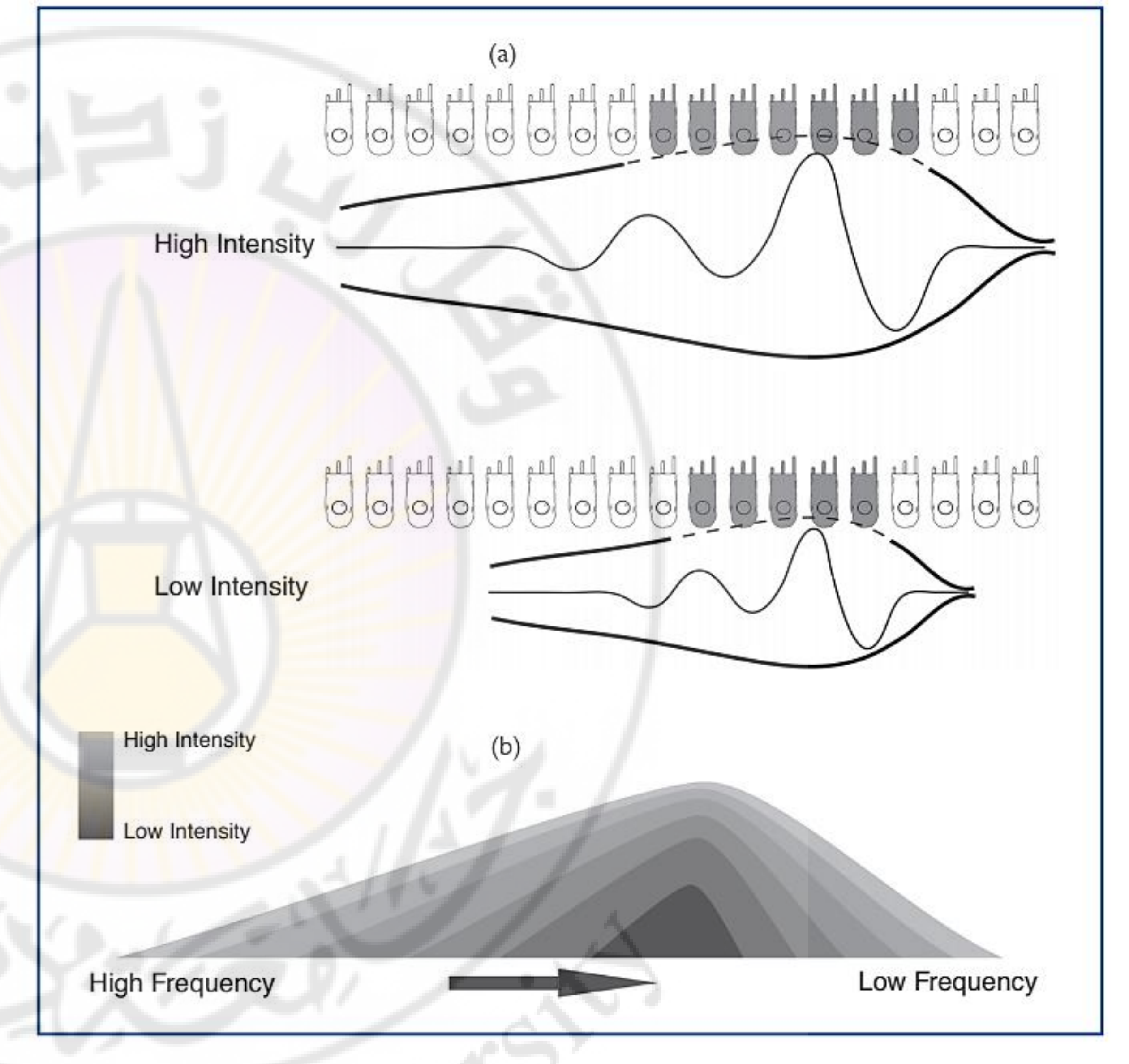


Figure 5-5. (**a**) The increase in the number of hair cells stimulated as the basilar membrane deflection increases with higher intensities. (**b**) Basilar membrane displacement associated with intensity increments. Note the amplitude compression, lack of sharpness, and greater displacement at the higher intensities.

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي الحي

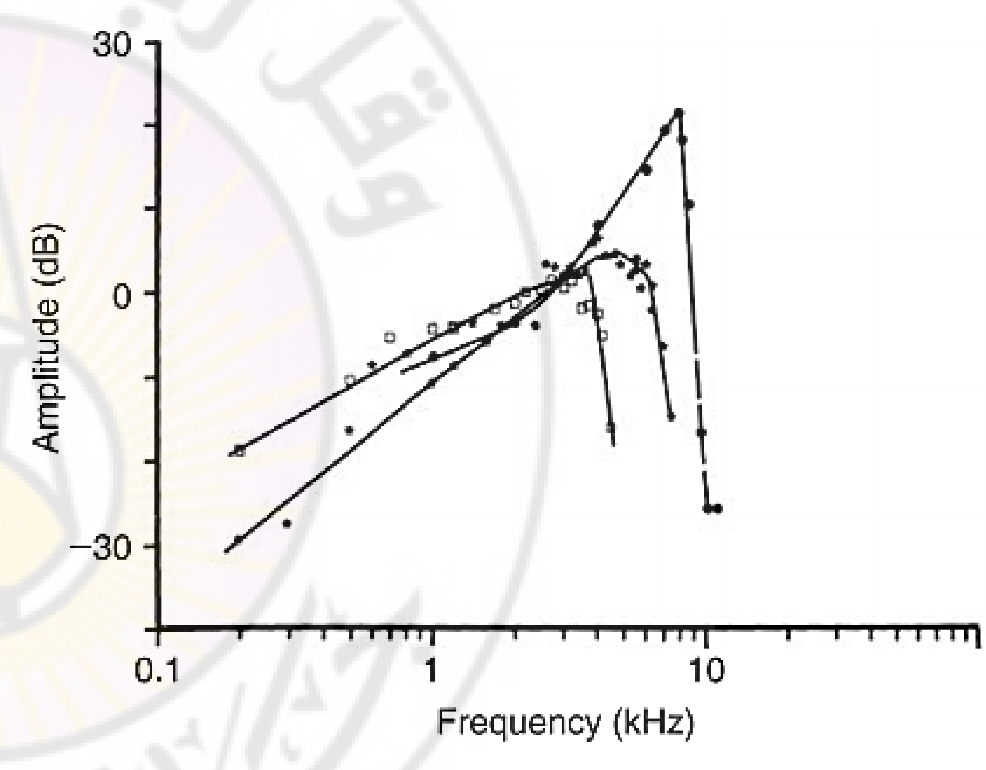
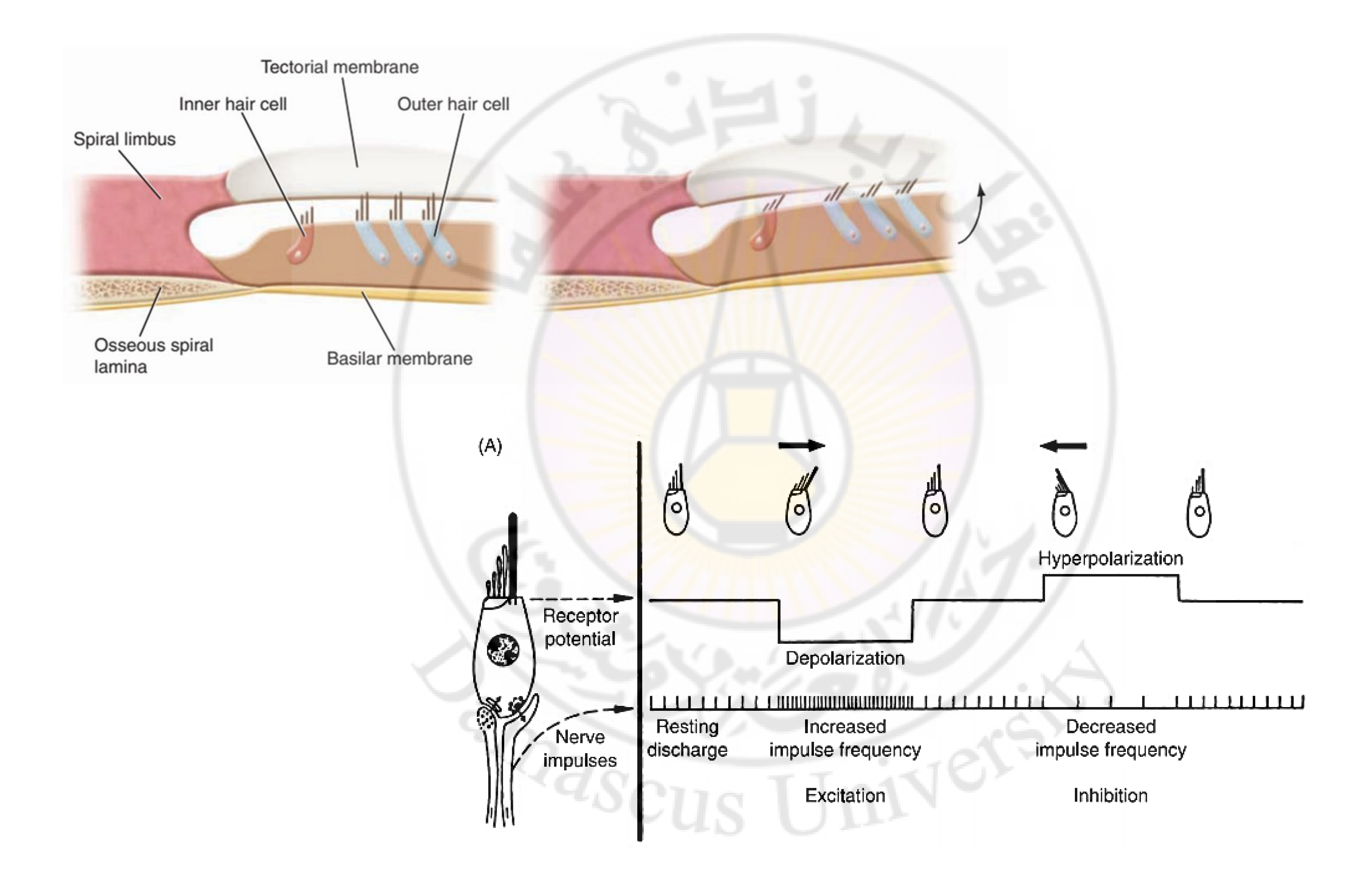


FIGURE 3.5 The amplitude of the displacement of the basilar membrane in a monkey obtained in a similar way as the results shown in Fig. 3.4. The top curve shows the results when the monkey was alive (anesthetized), and the two other curves show results obtained 1 h after the death of the monkey and 7 h after the death

آليات الخلايا المشعرة في الحلزون

- ينتج عن انزياح الغشاء القاعدي تشكل الموج المسافر الذي يسبب حركة اللمف الباطن حول الخلايا المشعرة الأمر الذي يؤدي إلى تحرك أهداب الخلايا المشعرة الداخلية وإطلاق سلسلة من التفاعلات التي تؤدي إلى تنبيه المشابك العصبية بين الخلايا المشعرة الداخلية ونهايات ألياف العصب السمعي فورية لتشكل كمون العمل الذي يطلق عملية انتقال الإشارة عبر السبيل السمعي المركزي .
- إن حركة الأهداب باتجاه الهدب المركزي تسبب تفعيل (نزع استقطاب) وبعيدا عنه تسبب تثبيط (فرط استقطاب).
- تختلف وظيفة الخلايا المشعرة الداخلية عن الخارجية : فالخلايا المشعرة الداخلية وظيفتها ترميز التواتر عبر ألياف العصب السمعي Frequency coding.
- أما الخلايا المشعرة الخارجية فتهتم بترميز الشدة Intensity coding، ولكن على ما يبدو فإنها لا تتفعل عندما تكون شدة الإشارة الصوتية الواردة أقل من 40 د سي بل SPL.
- إن فقدان الخلايا المشعرة الخارجية لوظيفتها لا يسبب فقداً كاملاً للسمع وإنما يؤدي إلى ارتفاع في عتبات السمع.


Tectorial membrane
Inner hair cell
Outer hair cell
Spiral limbus
Osseous spiral lamina
Basilar membrane
(A)
Hyperpolarization
Receptor potential
Depolarization
Nerve impulses
Resting discharge
Increased impulse frequency
Decreased impulse frequency
Excitation
Inhibition



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 5

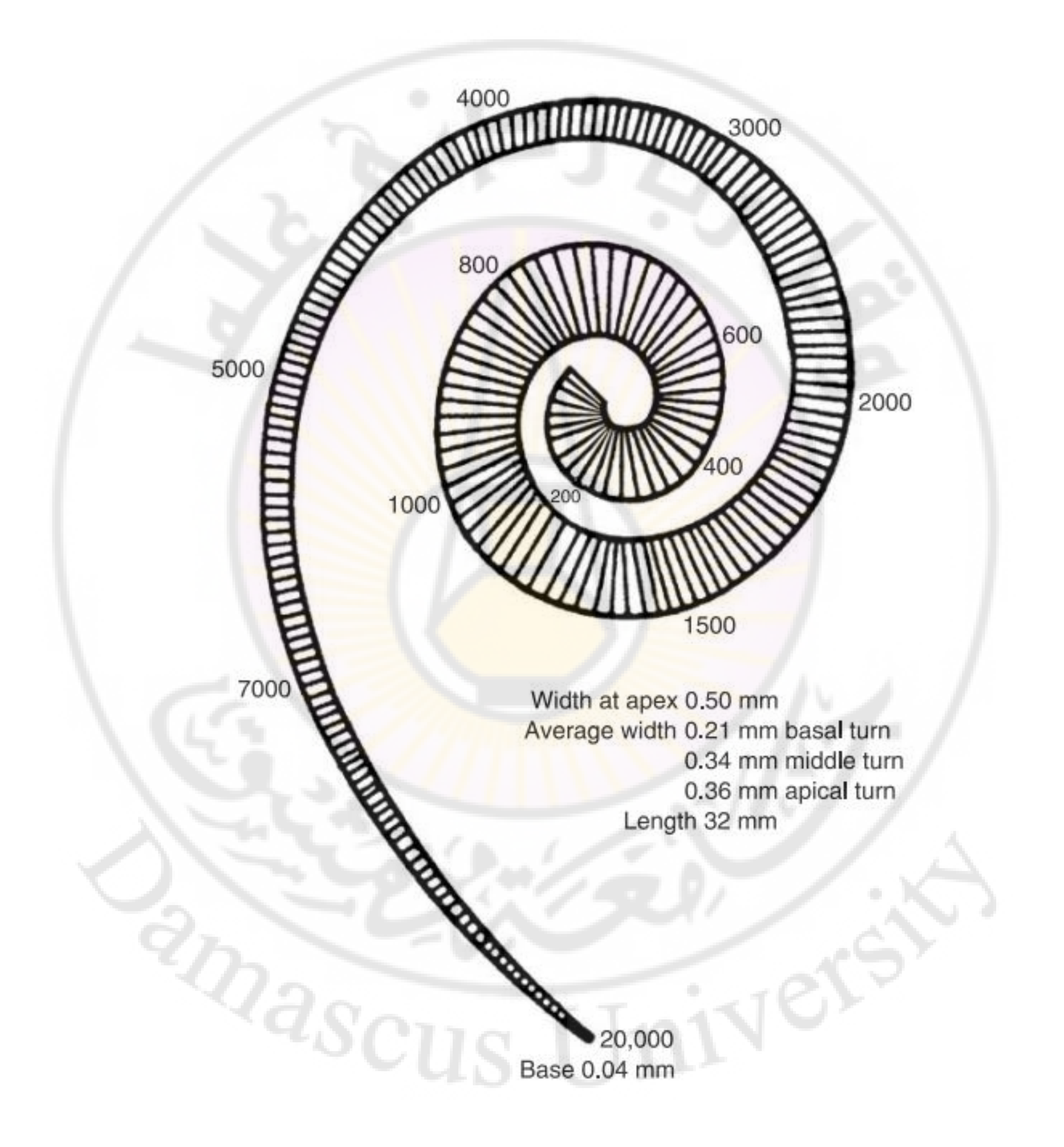
Physiology of Hearing

(Sound Conduction to the Cochlea 3)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University
May 2022

وظيفة الأذن الداخلية

- يعتبر الحلزون من أكثر الأعضاء الحسية دقة وروعة في جسم الإنسان حيث أن هذا العضو الصغير بمكوناته المتناهية في صغر الحجم يقوم بوظيفة رائعة بكل إتقان ودقة على طول الحياة بدون تنكس يذكر ولو أن ضجيج الحياة الحديثة له أثر هام على هذه الوظيفة سيناقش لاحقا.
- يقوم الحلزون بكلتا وظيفتي التحليل الطيفي والزماني للإشارة الصوتية. حيث يقصد بالتحليل الطيفي المقدرة على استخلاص جميع التواترات المختلفة من الإشارة المعطاة. والتحليل الزماني يقوم على كشف أدق التغييرات في الإشارة السمعية خلال فواصل زمنية دقيقة جدا.
- يساعد الحلزون على إدراك رقعة الصوت Pitch وحدته Loudness وهي المرادفات الحسية Psychoacoustic لما يقوم الحلزون بتحليله من خصائص الإشارة الصوتية كالتواتر Frequency والمطال Amplitude يضاف إليها المحتويات الزمنية للإشارة Temporal aspects، تشكل هذه الآليات المرحلة الأولى للمعالجة السمعية Auditory Processing للإشارات الصوتية.


4000
3000
800
600
5000
2000
400
200
1000
1500
7000
Width at apex 0.50 mm
Average width 0.21 mm basal turn
0.34 mm middle turn
0.36 mm apical turn
Length 32 mm
20,000
Base 0.04 mm

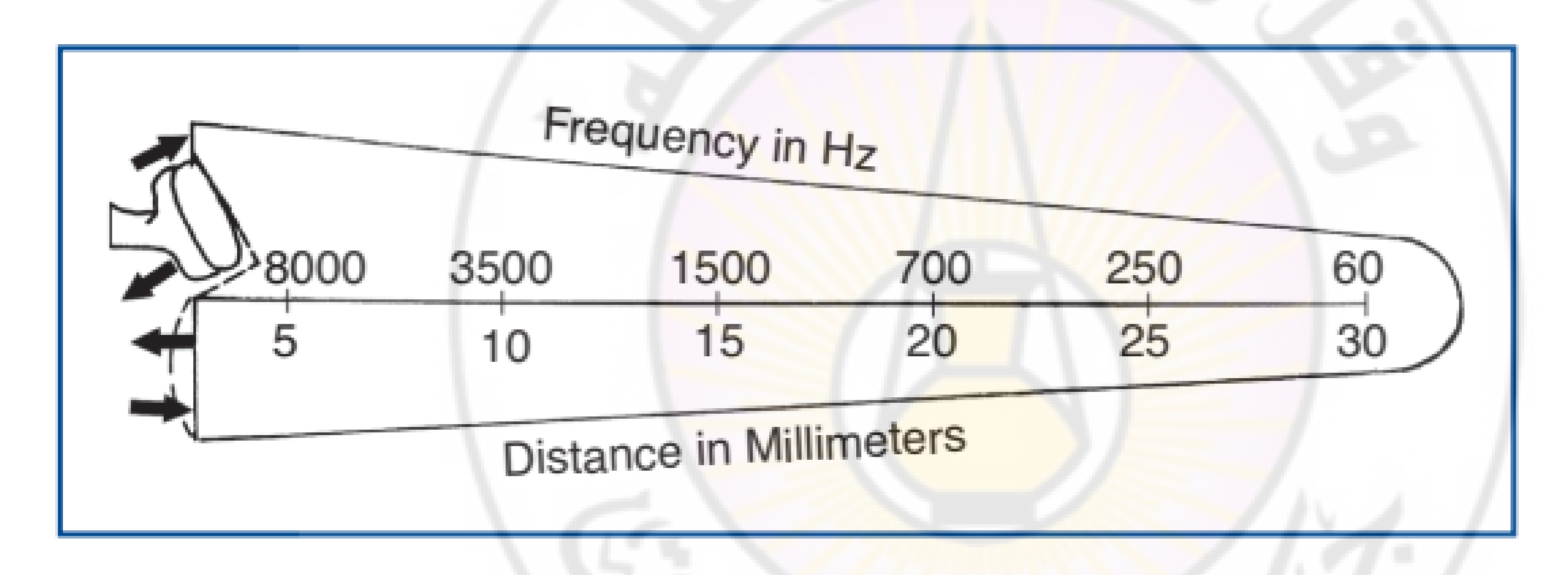
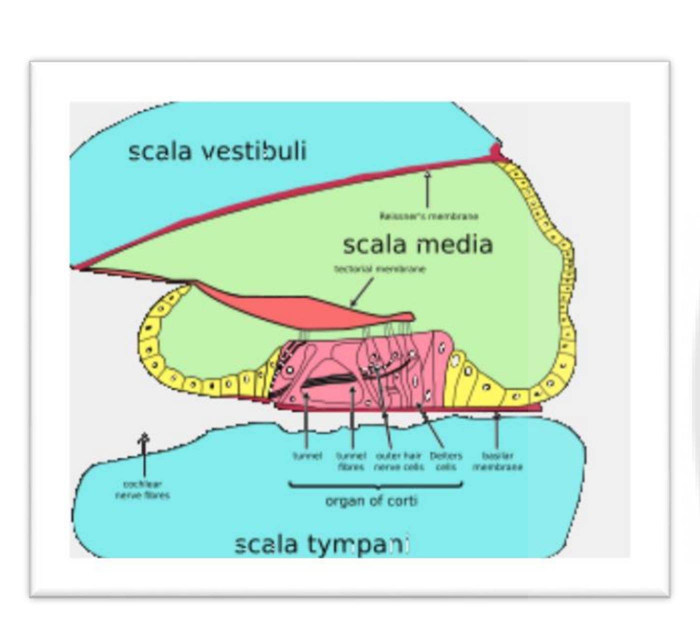


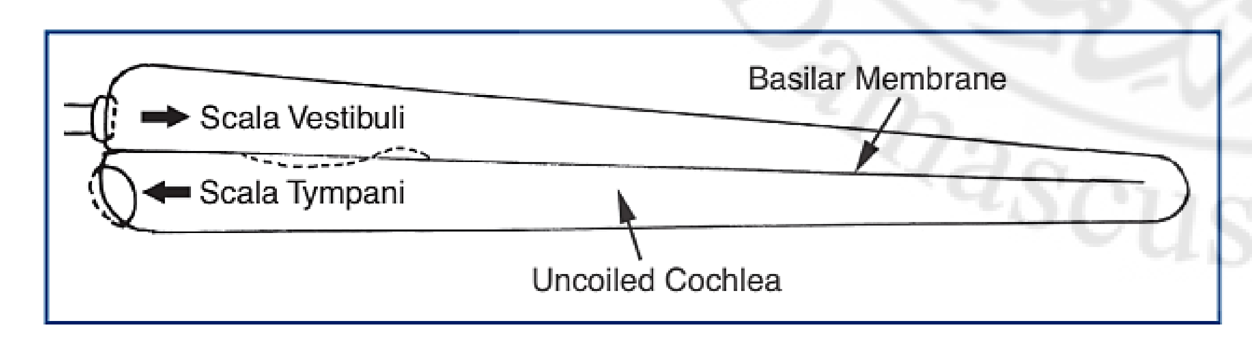
Figure 5-4. The frequency to distance relationship from the stapes to a place along the human basilar membrane.

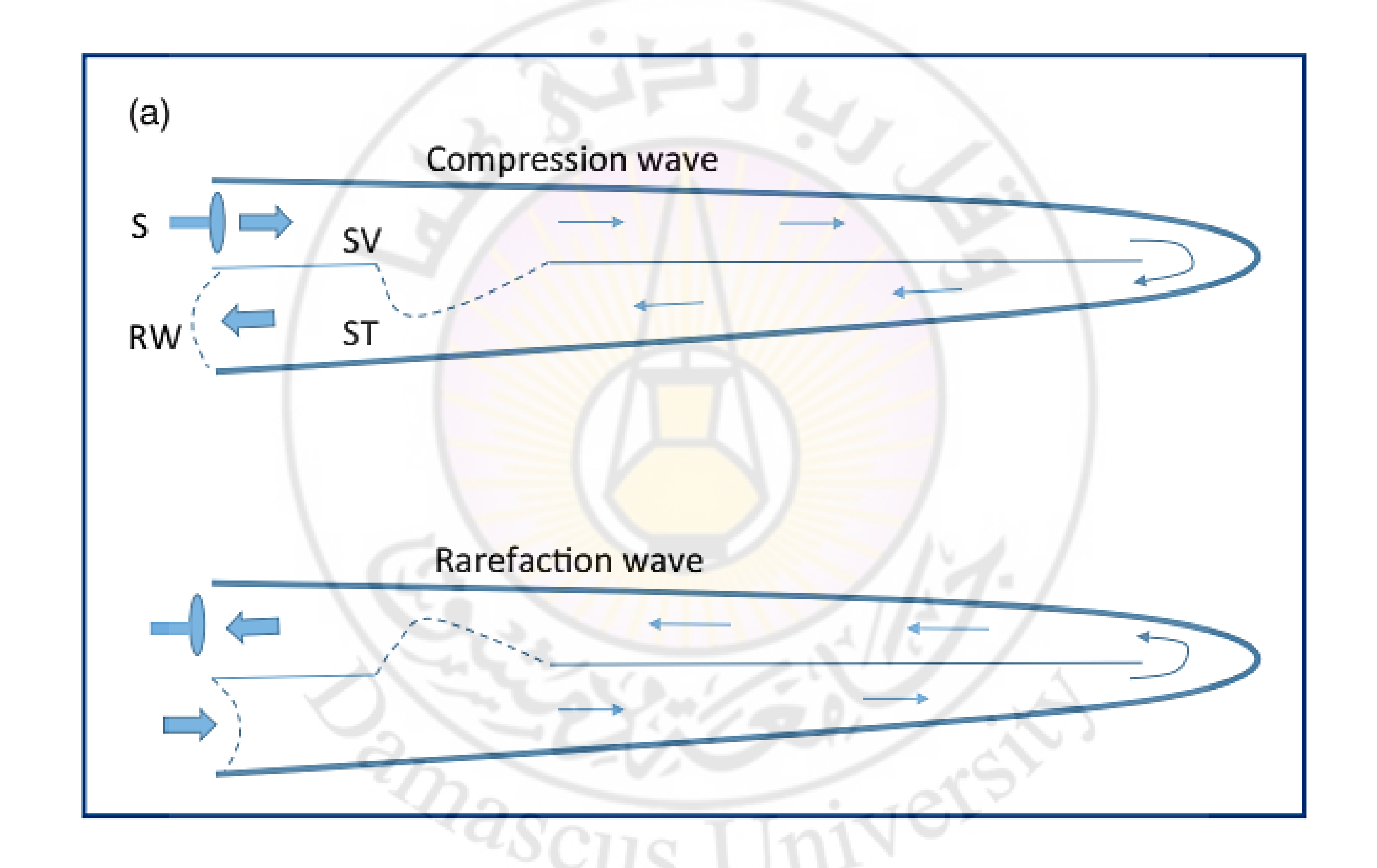
وظيفة الأذن الداخلية

- تنتقل الموجة الصوتية من خلال انزياح الذرات في الهواء مسببة حركة غشاء الطبل والعظيمات التي تنقل الاهتزازات الى النافذة البيضية عبر قاعدة الركابة Stapes Footplate، بحيث يحدث دفعها للداخل عندما تكون الموجة انضغاطية Condensation وسحبها للخارج عندما تكون انبساطية Rarefaction وعليه فإن كل التعقيد الموجود في الموجة الصوتية يتم ترجمته بشكل مباشر الى سوائل الحلزون توسط قاعدة الركابة.

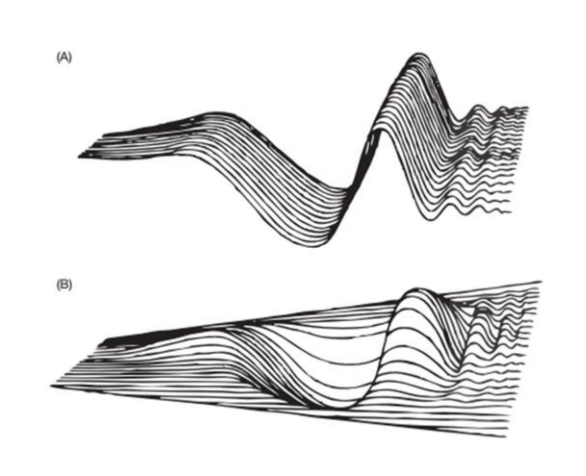


- عندما تضغط الركابة اللمف الباطن Perilymph في السقالة الدهليزية Scala Vestibuli فإن غشاء رايسنر Reissner's membrane يتمدد باتجاه السقالة الوسطى Scala media ويتمدد الغشاء القاعدي Basilar membrane باتجاه السقالة الطبلية Scala Tympani. وبالتالي فإن أي انضغاط للسوائل في السقالة يسبب انزياح مباشر للغشاء القاعدي.

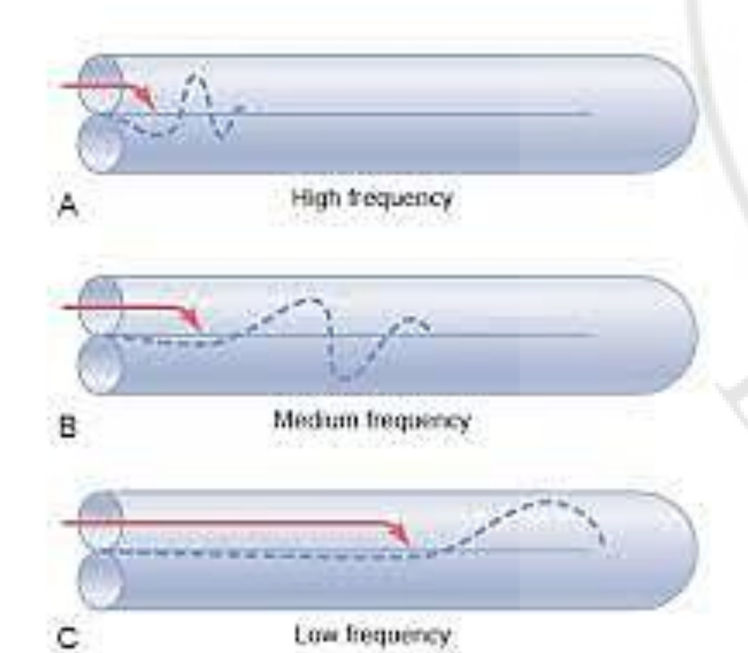


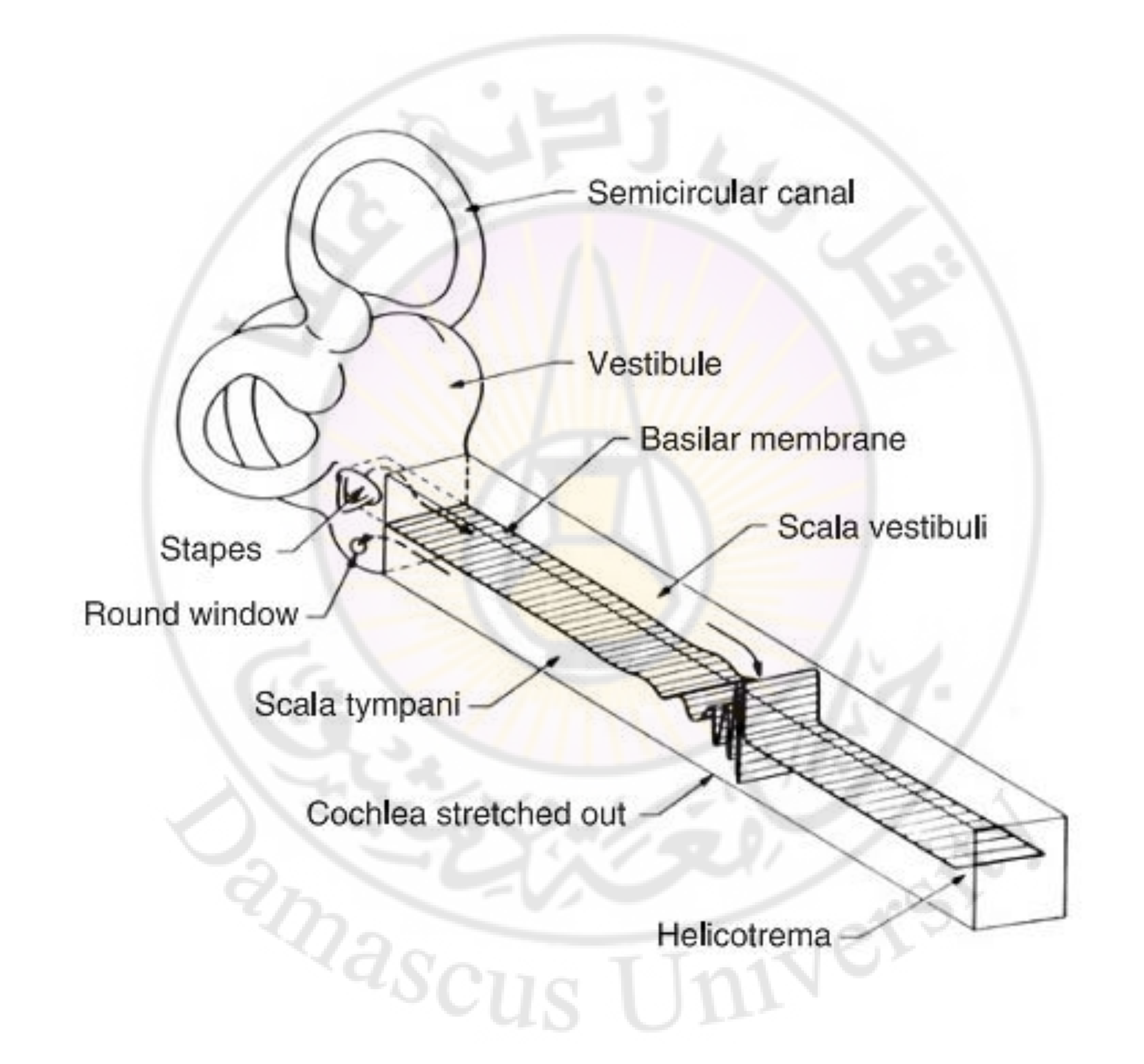

(a)
Compression wave
S
SV
RW
ST
Rarefaction wave

آلية الموجة المسافرة



- كما هو معروف فإن تواتر الصوت يحدد بعدد الذبذبات أو الاهتزازات في الثانية وبالتالي فإن إشارة صوتية تواترها 100 هرتز ستسبب حركة قاعدة الركابة (معقد غشاء الطبل - عظيمات - قاعدة الركابة) بمعدل ١٠٠ مرة بالثانية داخلاً وخارجاً وتنتقل هذه الحركة الدورية Periodic إلى الغشاء القاعدي حيث ينشأ ما يسمى بالموجة المسافرة Travelling wave.
- لقد اكتشف Bekesy أن الغشاء القاعدي مصمم لدعم وتسهيل تشكيل الموجة المسافرة الموافقة لتواتر اهتزاز الموجة الصوتية.
- عندما ترتبط الأصوات عالية التواتر بالأذن الداخلية فإن الجزء القاعدي للحلزون يقوم بالاهتزاز (قرب الدهليز)، في حين الأصوات منخفضة التواتر تسبب اهتزاز الغشاء القاعدي في الأجزاء الرأسية (قمة) الحلزون قاطعة مسافة طويلة على طول الغشاء القاعدي (الأمر يتعلق بطول الموجة والذي يتناسب عكساً مع التواتر).
- على هذا الأساس يقوم الموج المسافر بفصل المكونات التواترية للأصوات المركبة مكانياً حيث يعالج الأصوات عالية التواتر عند القاعدة و المنخفضة التواتر عند القمة (Apex).



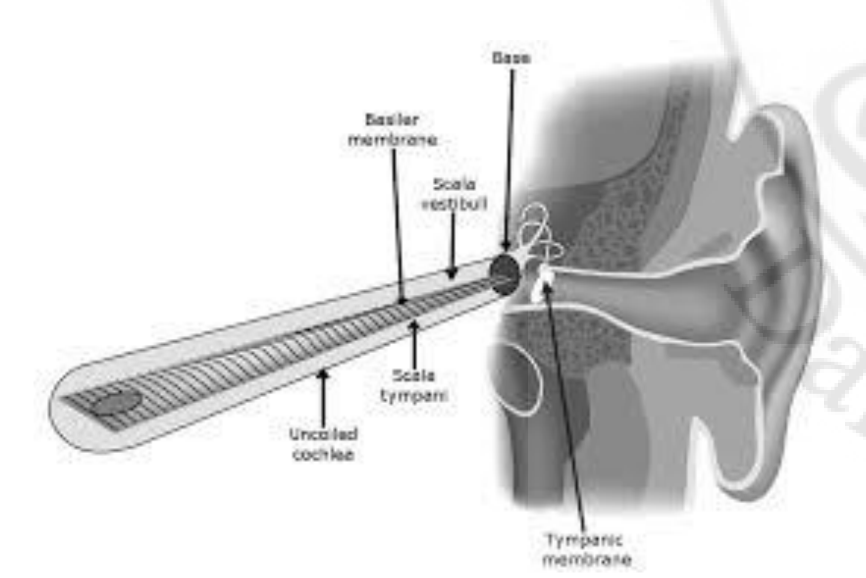


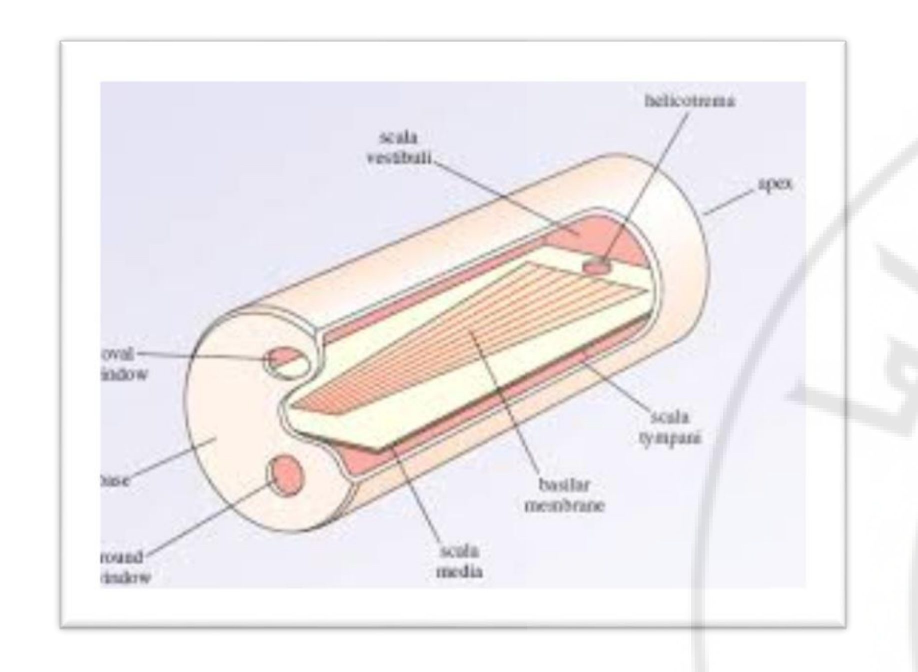
Semicircular canal
Vestibule
Basilar membrane
Scala vestibuli
Stapes
Round window
Scala tympani
Cochlea stretched out
Helicotrema

الموجة المسافرة وخصائص الغشاء القاعدي

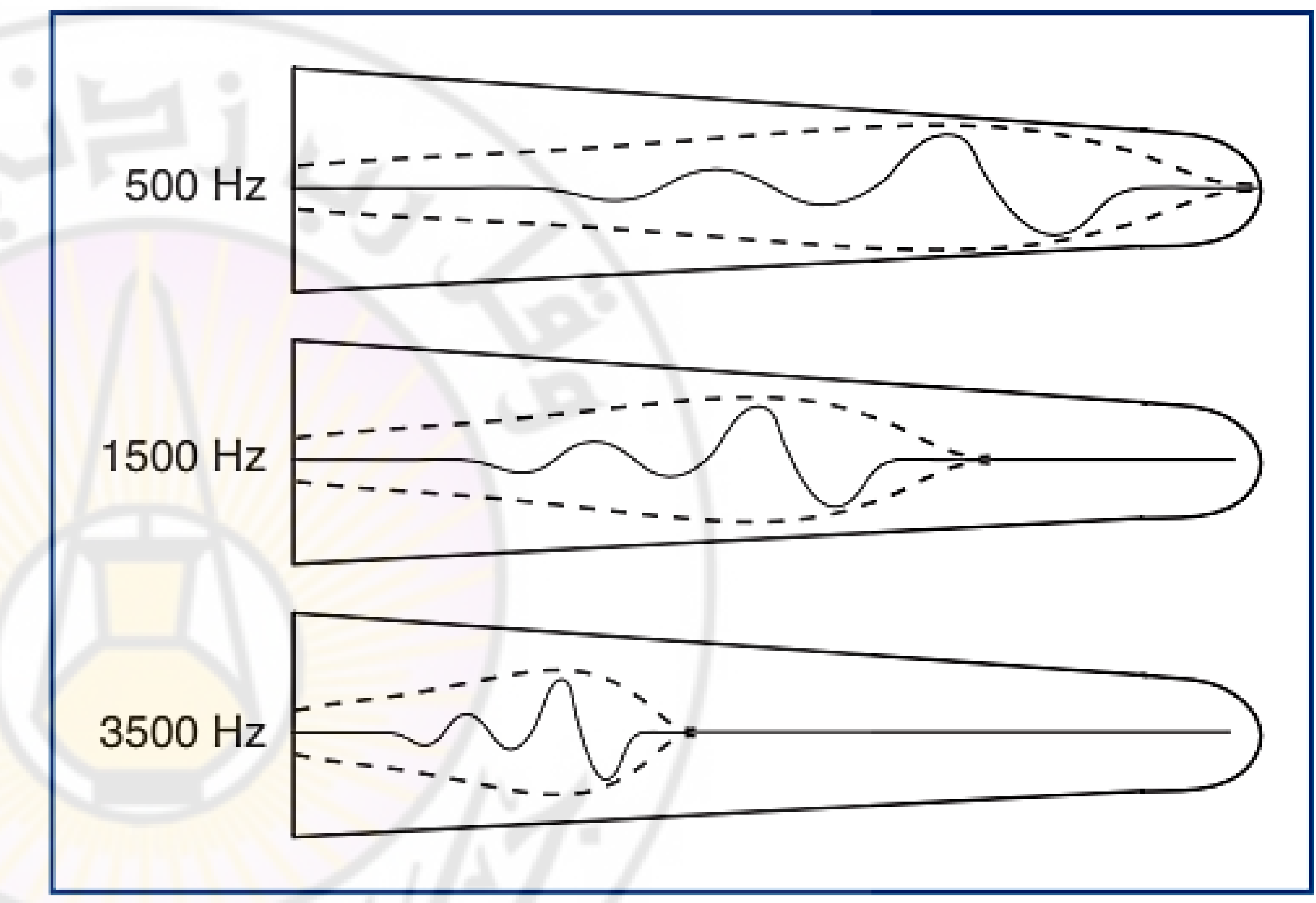
- يمكن تشبيه الموج المسافر بأمواج البحر حيث تصل إلى أعلى ارتفاعها لتتخامد عند الشاطئ، كذلك الحال يبلغ الموج المسافر أعلى ذروة له على الغشاء القاعدي في نقطة معينة تشكل النقطة الأساسية لتفعيل الخلايا المشعرة داخل عضو كورتي ومنها النهايات العصبية. وعليه يمكن القول يتشكل الموج المسافر عند قاعدة الحلزون ويستمر بالتشكل والانتفاخ على طول الحلزون ليصل إلى نقطة يبلغ فيها أعلى ذروة له ثم يتخامد بسرعة وبشكل شبه نهائي بعد الذروة. وعليه فإن الأصوات منخفضة التواتر تسبب تكسر (تموّت) الموج المسافر عند ذروة الحلزون وأن النقطة التي تمثل أكبر انزياح للغشاء القاعدي تحدد المعلومات التواترية Frequency information والتي يتم توصيلها إلى الدماغ.

- يتعلق اهتزاز الغشاء القاعدي بدرجة القساوة stiffness حيث تكون القساوة أكثر ما يمكن عند القاعدة وتتناقص بشكل تدريجي منسق باتجاه القمة. يضاف إلى ذلك عامل الكتلة Mass حيث أنه كلما زادت الكتلة كلما نقص التواتر الطنيني وتتزايد كتلة الغشاء القاعدي تدريجياً من القاعدة إلى القمة. وأخيراً فإن الغشاء القاعدي يصبح أعرض Wider بالتدريج من القاعدة إلى القمة.





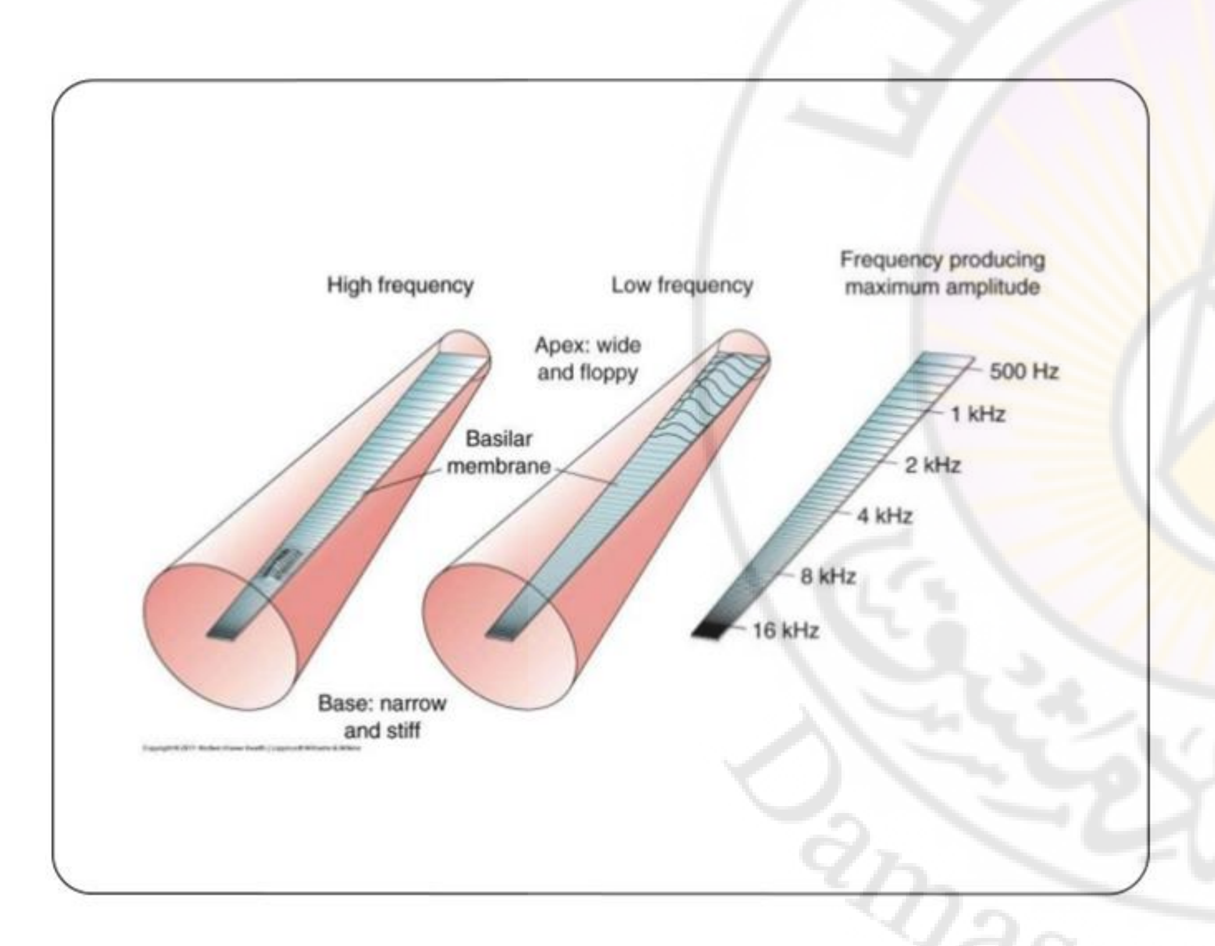
helicotrema
scala
vestibuli
apex
oval
indow
scala
tympani
ase
basilar
membrane
round
indow
scala
media



500 Hz
1500 Hz
3500 Hz



خصائص الغشاء القاعدي



- وبالتالي هذه العناصر الثلاثة للغشاء القاعدي : القساوة – الكتلة و العرض مجتمعةً تجعل من الغشاء القاعدي محلل تواتري ممتاز Excellent Frequency Analyzer.
- ملاحظة هامة: أياً كانت نقطة بدء تشكّل الموجة المسافرة على طول الحلزون فإنّ اتجاه مسيرها يكون دائماً باتجاه القمة وذلك تبعاً للخصائص آنفة الذكر للغشاء القاعدي.

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي

تعتبر اللاخطية من أهم خصائص الغشاء القاعدي الحي والتي تقوم على مبدأ أن الاستجابة حول العتبة تكون نوعية للتواتر ومنحني الاستجابة يكون حادا وكلما ازدادت شدة المنبه تزداد الاستجابة تدريجيا ولكن يزداد عرض المنحني (نقص الدقة التواترية) إلى أن نصل لشدة معينة يبدأ عندها ضغط الاستجابة compression أي نجد مايشابه نقص في ذروة الاستجابة وزيادة واضحة في عرض المنحني. تبدأ هذه الخاصية في الغشاء القاعدي وتترسخ في وظيفة الخلايا المشعرة وألياف العصب السمعي وهي من أهم آليات الحلزون للتعامل مع تبدل شدة الصوت.

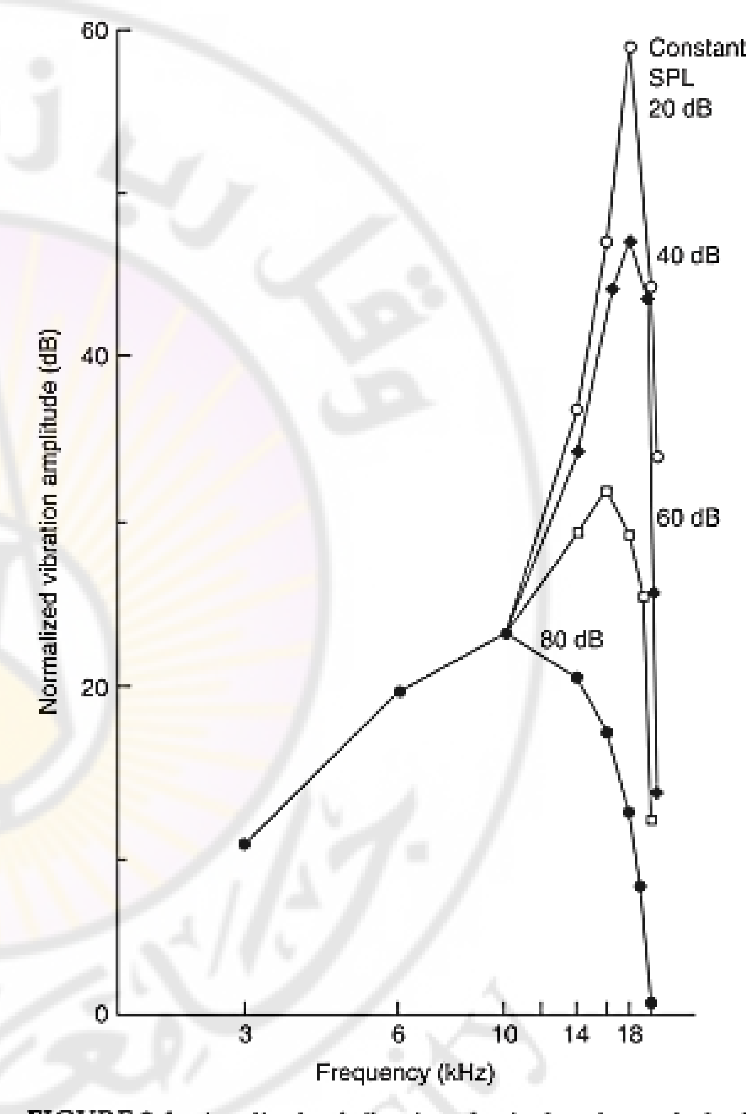


FIGURE 3.4 Amplitude of vibration of a single point on the basilar membrane in an anesthetized guinea pig in response to pure tones of 4 different intensities, at 20 dB intervals, as a function of the frequency. The curves were shifted so that they would have coincided if the cochlea had been a lines system (adapted from Johnstone et al., 1986).

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي
Cochlear Compression

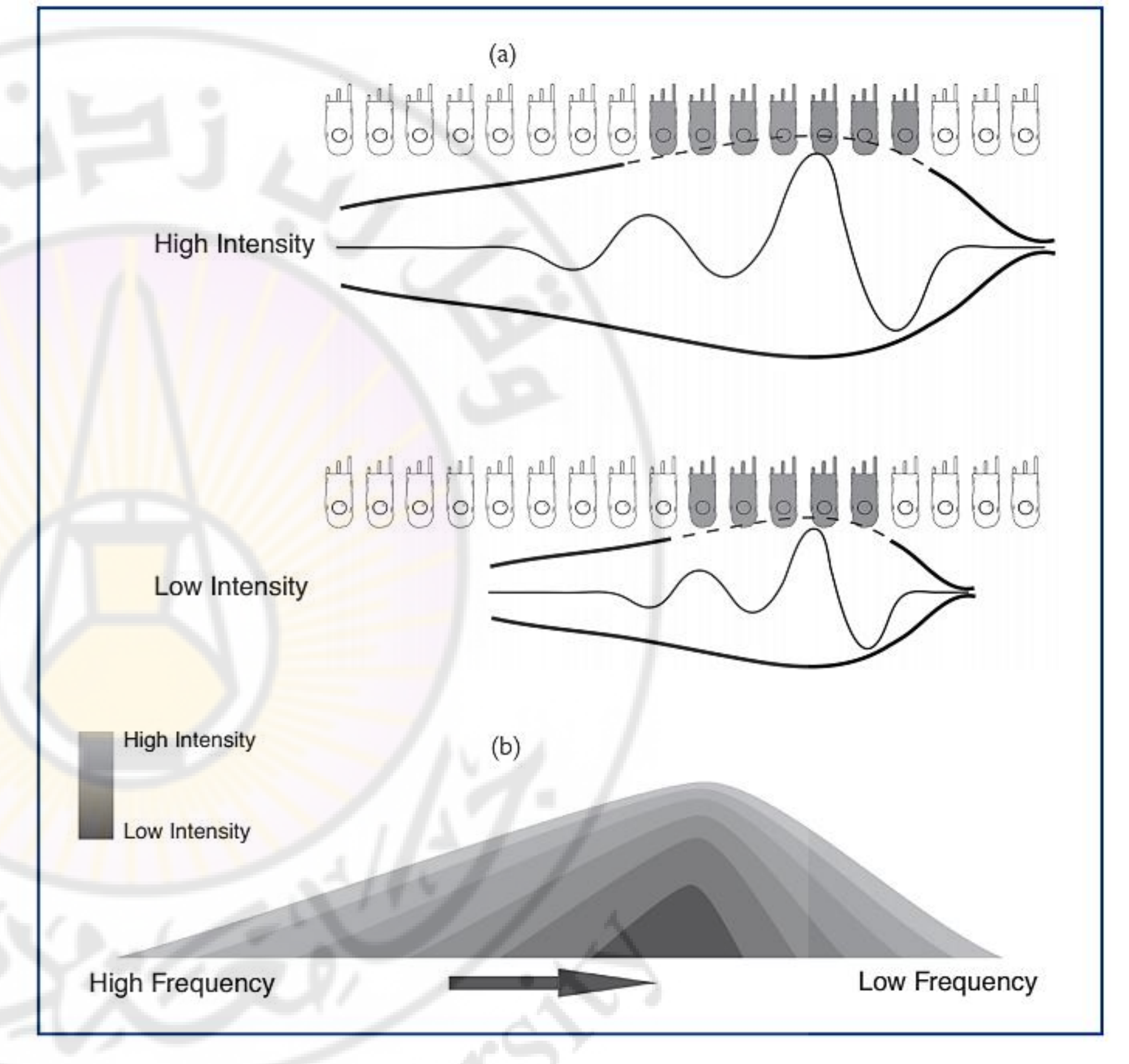


Figure 5-5. (**a**) The increase in the number of hair cells stimulated as the basilar membrane deflection increases with higher intensities. (**b**) Basilar membrane displacement associated with intensity increments. Note the amplitude compression, lack of sharpness, and greater displacement at the higher intensities.

Non-Linearity
اللاخطية في الغشاء القاعدي الحي

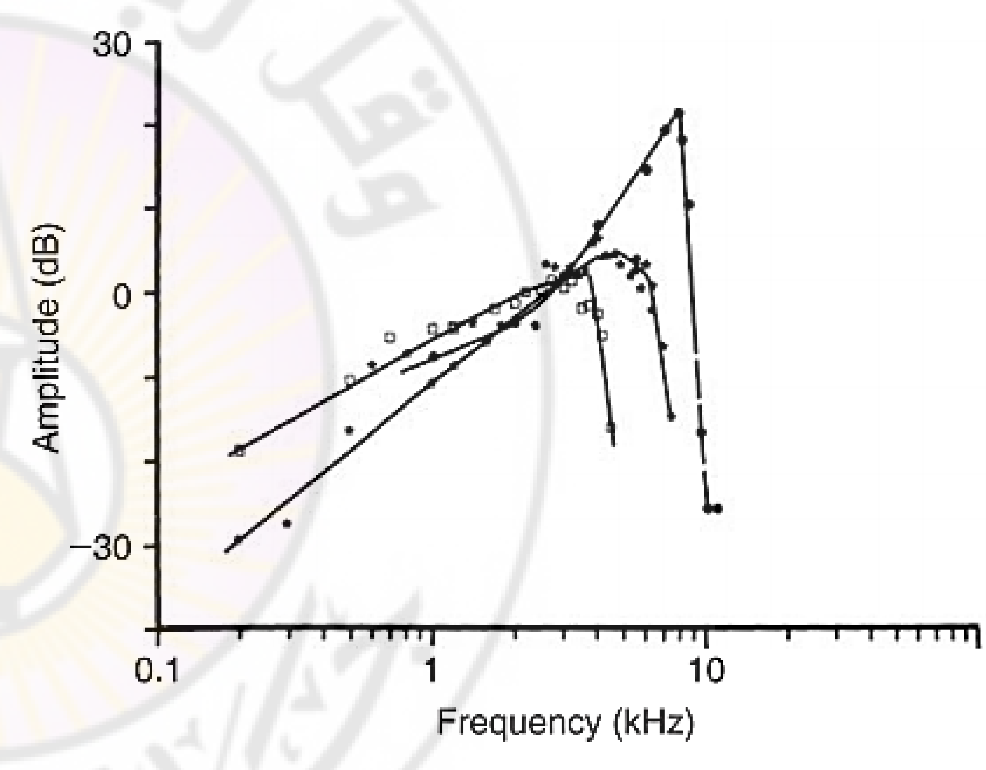
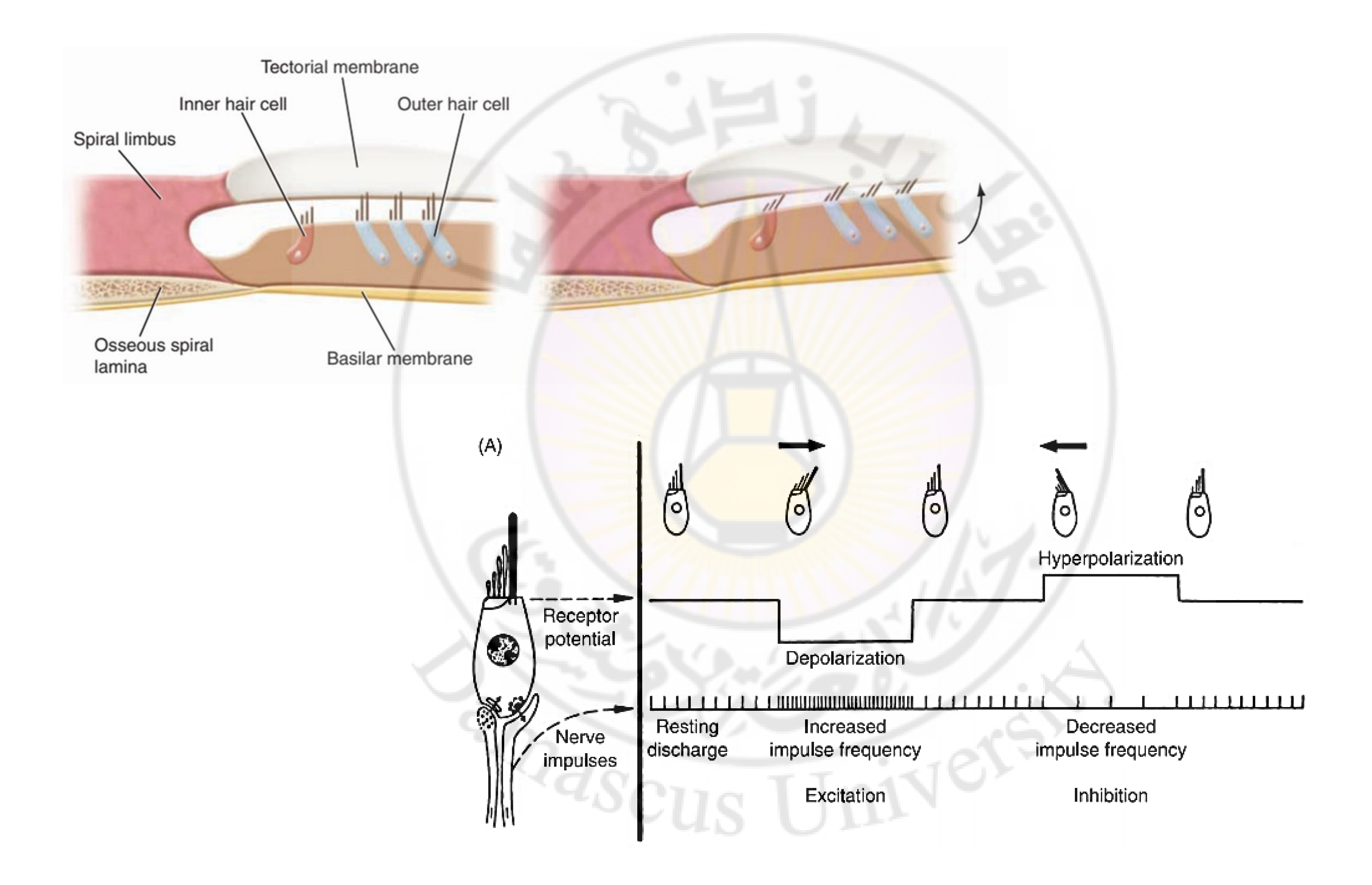


FIGURE 3.5 The amplitude of the displacement of the basilar membrane in a monkey obtained in a similar way as the results shown in Fig. 3.4. The top curve shows the results when the monkey was alive (anesthetized), and the two other curves show results obtained 1 h after the death of the monkey and 7 h after the death

آليات الخلايا المشعرة في الحلزون

- ينتج عن انزياح الغشاء القاعدي تشكل الموج المسافر الذي يسبب حركة اللمف الباطن حول الخلايا المشعرة الأمر الذي يؤدي إلى تحرك أهداب الخلايا المشعرة الداخلية وإطلاق سلسلة من التفاعلات التي تؤدي إلى تنبيه المشابك العصبية بين الخلايا المشعرة الداخلية ونهايات ألياف العصب السمعي فورية لتشكل كمون العمل الذي يطلق عملية انتقال الإشارة عبر السبيل السمعي المركزي .
- إن حركة الأهداب باتجاه الهدب المركزي تسبب تفعيل (نزع استقطاب) وبعيدا عنه تسبب تثبيط (فرط استقطاب).
- تختلف وظيفة الخلايا المشعرة الداخلية عن الخارجية : فالخلايا المشعرة الداخلية وظيفتها ترميز التواتر عبر ألياف العصب السمعي Frequency coding.
- أما الخلايا المشعرة الخارجية فتهتم بترميز الشدة Intensity coding، ولكن على ما يبدو فإنها لا تتفعل عندما تكون شدة الإشارة الصوتية الواردة أقل من 40 د سي بل SPL.
- إن فقدان الخلايا المشعرة الخارجية لوظيفتها لا يسبب فقداً كاملاً للسمع وإنما يؤدي إلى ارتفاع في عتبات السمع.


Tectorial membrane
Inner hair cell
Outer hair cell
Spiral limbus
Osseous spiral lamina
Basilar membrane
(A)
Hyperpolarization
Receptor potential
Depolarization
Nerve impulses
Resting discharge
Increased impulse frequency
Decreased impulse frequency
Excitation
Inhibition



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 7

Physiology of Hearing

(Electrical Events in the Cochlea & Auditory nerve)

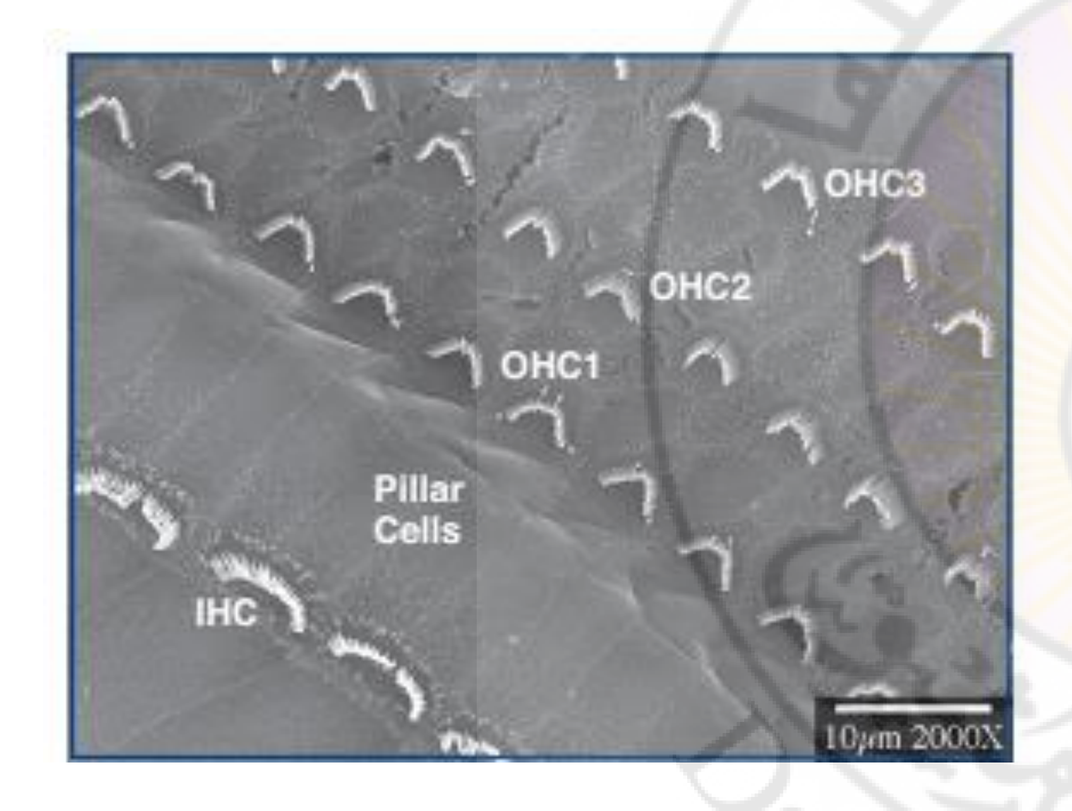
Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

May 2023

وظيفة الخلايا المشعرة في الحلزون

- تختلف وظيفة الخلايا المشعرة الداخلية عن الخارجية : فالخلايا المشعرة الداخلية وظيفتها ترميز التواتر عبر ألياف العصب السمعي Frequency coding، أما الخلايا المشعرة الخارجية فتهتم بترميز الشدة Intensity coding، ولكن على ما يبدو فإنها لا تتفعل عندما تكون شدة الإشارة الصوتية الواردة أقل من 40 د سي بل SPL.

- إن فقدان الخلايا المشعرة الخارجية لوظيفتها لا يسبب فقداً كاملاً للسمع وإنما يؤدي إلى ارتفاع في عتبات السمع



Inner Hair Cell
Outer Hair Cell
Tip-Links
Side-Links
Stereocilia
Stereocilia
Cuticular Plate
Cuticular Plate
Nucleus
Nucleus
Type I Afferent Fiber
Lateral Olivocochlear Efferent Fiber
Medial Olivocochlear Efferent Fiber
Deiters' Cell
Type II Afferent Fiber

Hair Cell Tuning

- ما هي العلاقة بين ضبط IHCsو OHCs، وكيف يقارن ضبط الخلية المشعرة مع الضبط الميكانيكي للغشاء القاعدي؟
- تمثل منحنيات التنغيم مستوى ضغط الصوت المطلوب لإنتاج معيار ، استجابة منخفضة السعه للتيار المتردد أو التيار المستمر الذي تنتجه حركة الخلايا وتفعيلها.
- كل من منحنيات ضبط IHCو OHCلها عتبة منخفضة ، وطرف مضبوط بدقة بالقرب من التواتر النوعي، وذيل عالي التردد ، ومضبوط على نطاق واسع ، وذيل منخفض التردد.
- تشبه هذه الاستجابات أنماط الاهتزاز الميكانيكي للغشاء القاعدي ، مما يشير إلى أن استجابة خلايا الشعر مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بالاستجابة الميكانيكية.

Hair Cell Tuning

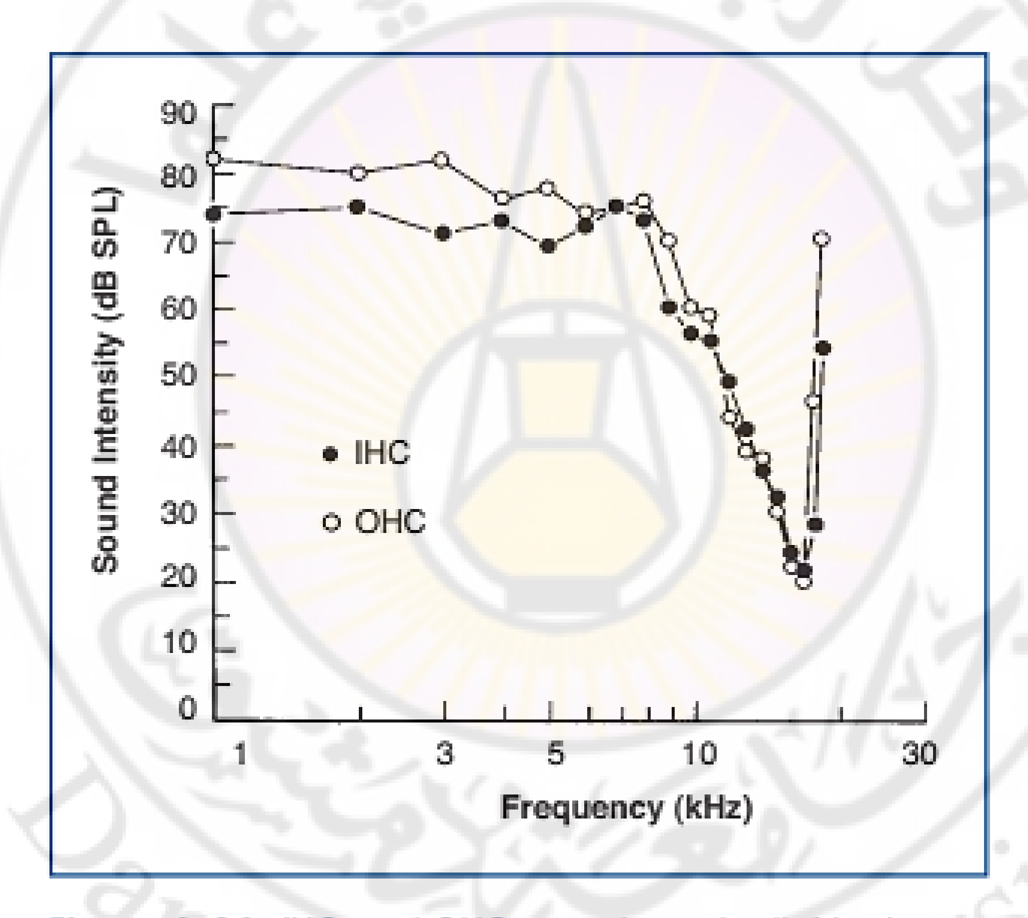


Figure 6-24. IHC and OHC receptor potential tuning curves showing the similarities between the tuning curves for the two types of hair cells, both of which closely resemble the mechanical movements of the basilar membrane. (From Cody & Russell, 1987, with permission.)

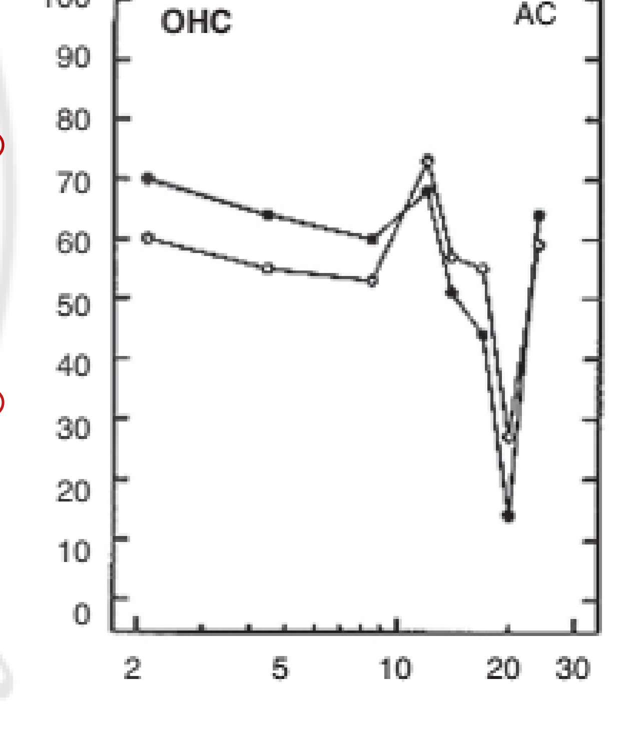
Outer Hair Cell Function

- ينتج عن التخريب الانتقائي لـ OHCs ارتفاع في العتبات السلوكية والفزيولوجية تصل إلى 40 إلى 60 ديسيبل واتساعًا كبيرًا لمنحنيات التنغيم (ما معني هذا؟).

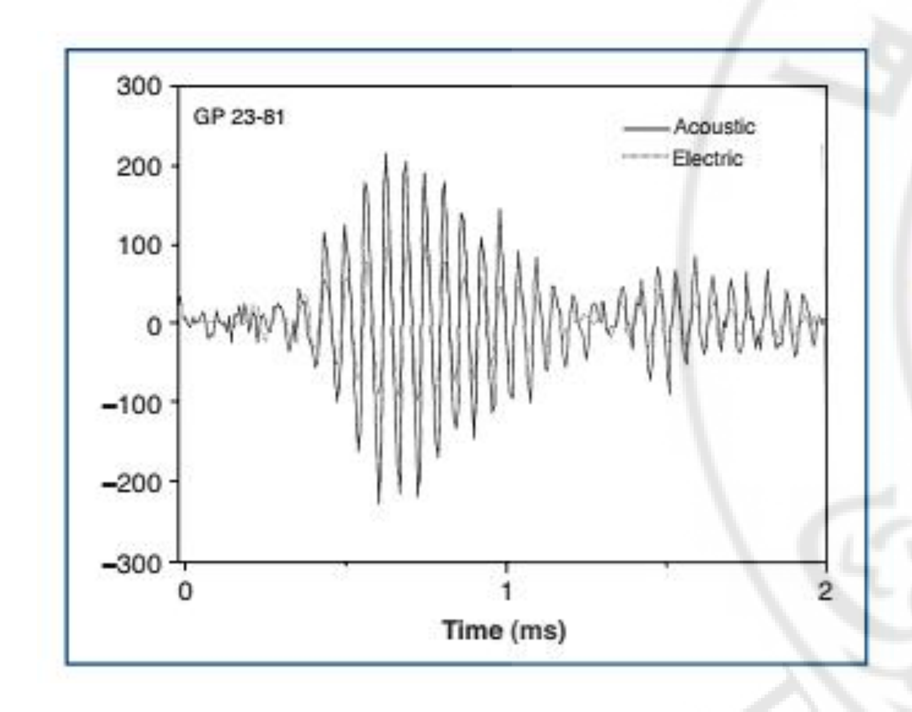
- شوهدت تغييرات مماثلة لهذه في منحنيات ضبط محتمل لمستقبلات IHC وOHC بعد الرض الصوتي الحاد.

- هناك تقسيم للعمل حيث تعزز OHCs الحساسية والضبط حول CF؛ ثم يتم نقل الاستجابة المعززة بالقرب من التواتر النوعي إلى IHCs، المسؤولة عن نقل المعلومات إلى النظام السمعي المركزي.

- غالبًا ما يشار إلى العمليات الفسيولوجية التي تعمل على تحسين حساسية وضبط الأذن الداخلية باسم "مضخم القوقعة".

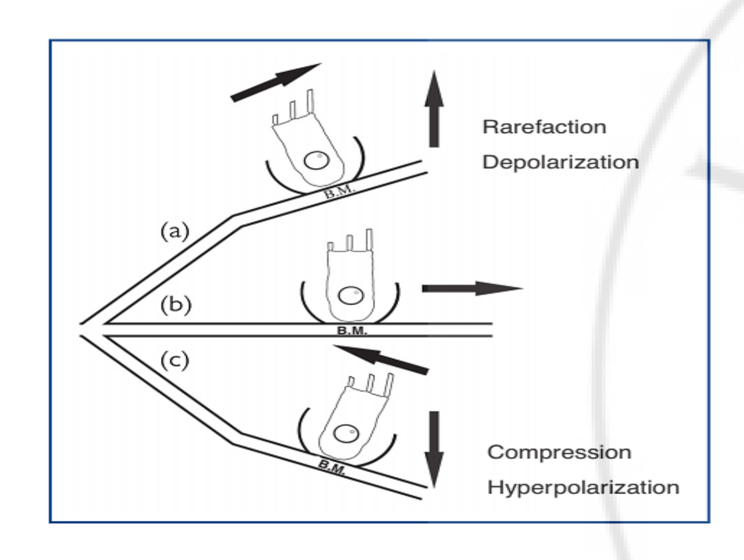


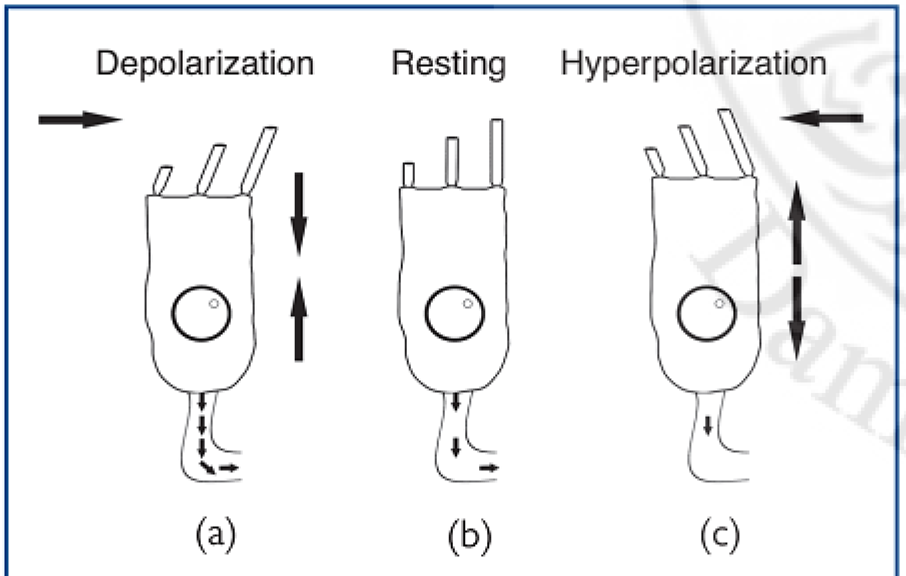
Outer Hair Cell Function



- إن حركية الخلايا المشعرة الخارجية تتم بفضل بروتين البرستين الموجود قرب جدار الخلية وتتم أيضا بفضل حوادث كهربائية داخل الخلية.
- إن حركة الخلايا المشعرة الخارجية يسبب توليد إشارات اكوستيكية ترتد عبر الأذن الوسطى إلى مجرى السمع يتم تسجيلها بوساطة مكرفون مناسب وتسمى بالإصدار الصوتي الأذني (OAEs) Otoacoustic Emission هذه الإصدارات هي التي تقود إلى فكرة كون الحلزون مولد للصوت. Cochlea as sound generator
- إن تسجيل هذه الإصدارات هو دليل على سلامة الحلزون ويستخدم كاختبار ماسح للسمع وتشخيصيا يفيد في تشخيص الآفات ماوراء الحلزونية.

Electrical Events الحوادث الكهربائية

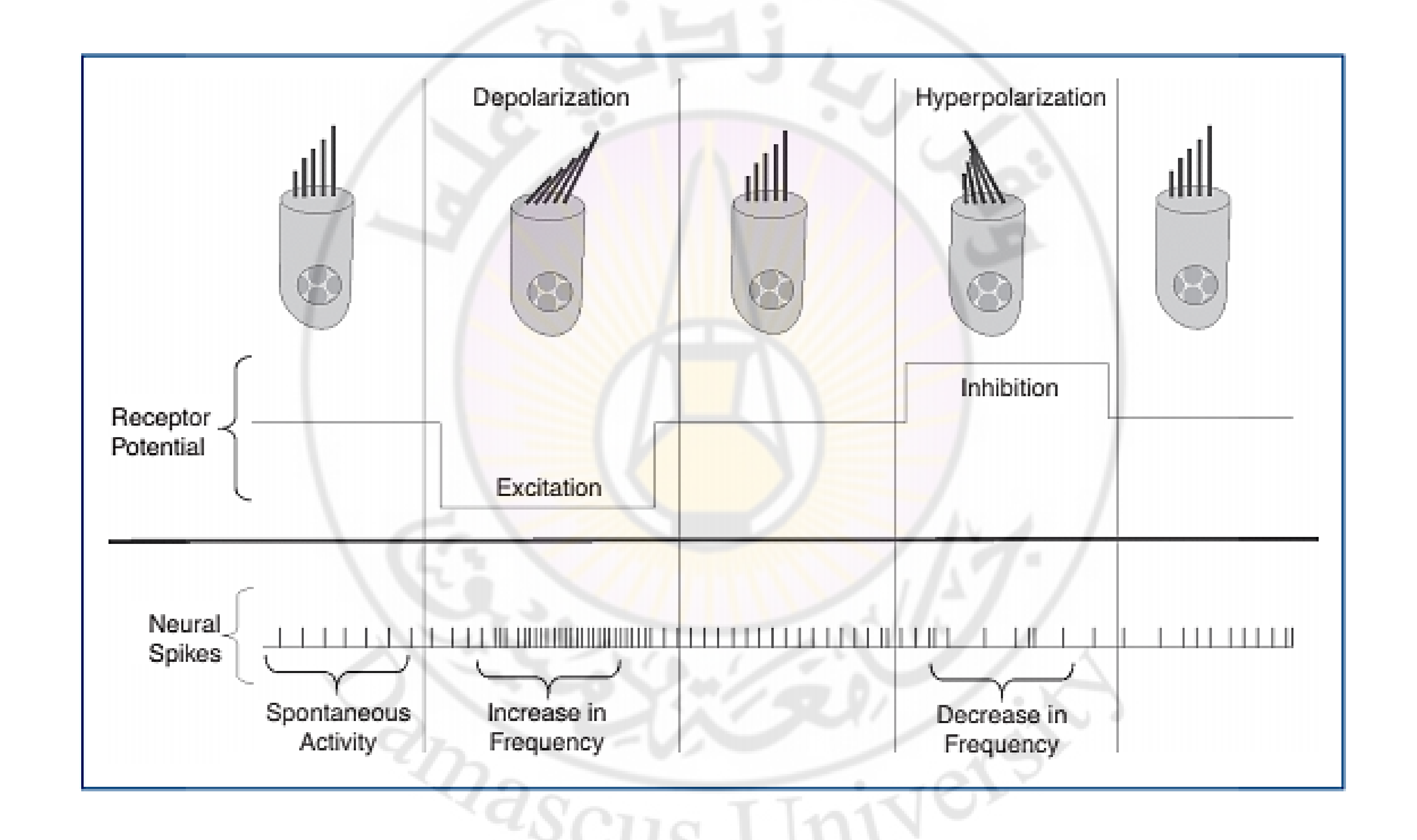




- الحلزون هو محلل تواتري و مبدل أيضاً Frequency analyzer and Transducer حيث أن تفعيل الخلايا المشعرة الداخلية يساهم في تحويل الطاقة الميكانيكية لقاعدة الركابة إلى طاقة كهروكيميائية. يحدث تفعيل الخلايا المشعرة الداخلية عندما ينزاح الغشاء القاعدي باتجاه السقالة الدهليزية في حين يحدث التثبيط عندما ينزاح باتجاه السقالة الطبلية.
- في حالة الراحة تكون هناك 15% من القنوات الشاردية مفتوحة وعند انزياح الأهداب Cilia باتجاه الهدب المركزي kinocilium يحدث نزع استقطاب depolarization في حين يحدث فرط استقطاب hyperpolarization عندما تنزاح بعيداً عن الهدب المركزي.

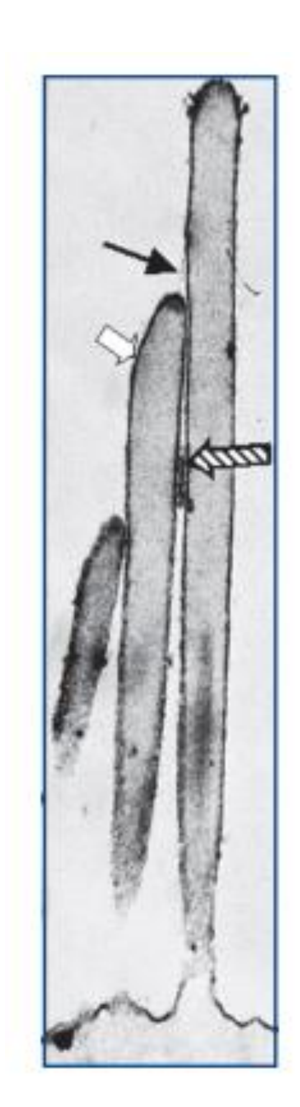
الحوادث الكهربائية في الحلزون

- نزع الاستقطاب داخل الخلية المشعرة الداخلية يشكل كمون المستقبل Receptor potential والذي يزداد بشكل تدريجي مع ازدياد شدة المنبه. وعند قاعدة الخلية المشعرة توجد المنطقة الفاعلة Active zoneحيث يتحرر الناقل العصبي الغلوتامات وينبه ألياف العصب الثامن.
- Davis Battery Theory: إن تجمع البوتاسيوم بتركيز عال في القناة الوسيطة Scala Media مشكلا مايسمى الكمون داخل حلزوني يشكل الخازن (البطارية) الأساسي لتامين شوارد البوتاسيوم اللازمة لتفعيل الخلايا المشعرة الداخلية، حيث تلعب الصفيحة الوعائية والرباط الحلزوني الدور الأساسي في دورة شادرة البوتاسيوم بين اللمف المحيطي واللمف الداخلي وتحقيق فرق الشحنة الأساسي لتشكيل كمون المستقبل الحلزوني.


Depolarization
Hyperpolarization
Inhibition
Receptor Potential
Excitation
Neural Spikes
Spontaneous Activity
Increase in Frequency
Decrease in Frequency

Transduction Kinetics

- لإعادة إنتاج الإشارات الصوتية عالية التردد بأمانة، يجب أن تكون حركية قنوات التحويل سريعة للغاية. تشير قياسات تيار بوابة قنوات حزم شعيرات الخلايا إلى حركة سريعه جدا، بما يتفق مع الفكرة القائلة بأن الروابط الميكانيكية تقوم مباشرة ببوابة القنوات.
- فسرت هذه الحركة السريعة بوجود نوابض واصلة بين الشعيرات تتصل من الشعيرة الأطول إلى الأقصر التالية تيسر حركة سريعة ومتجانسة بين الشعيرات باتجاه واحد.
- يعتبر تخرب هذه النوابض التي تتألف من الميوزين من أهم آليات نقص السمع المحرض بالضجيج.
- كما ان بعض الطفرات الوراثية المخربة للميوزين قد تسبب نقص السمع بنفس الآلية.



Neurotransmitters

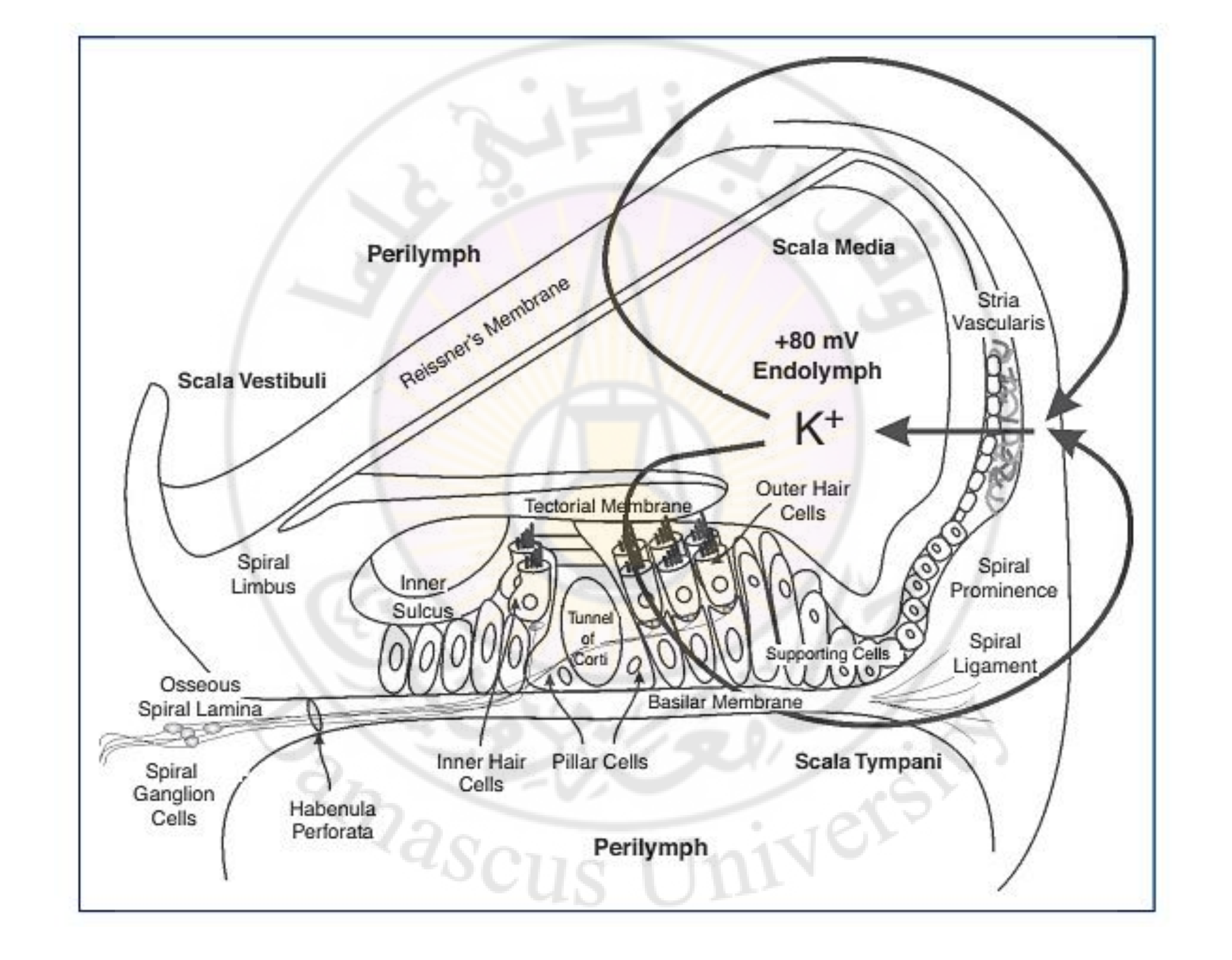
- من المقبول عمومًا أن IHCs هي الخلايا الحسية الرئيسية المشاركة في Transduction، في حين تعتبر OHCs بمثابة معدِّلات للاهتزاز من خلال العمليات الميكانيكية. على هذا النحو ، يتمثل أحد الأدوار الأساسية للخلايا الدخلية في إطلاق ناقل عصبي ينتشر عبر الشق المشبكي ، وينشط المستقبلات الموجودة على الغشاء ما بعد المشبكي للألياف العصبية الواردة ، ويزيل استقطاب الألياف بدرجة كافية لتوليد كمون العمل.

- هناك أدلة كافية تشير إلى أن الناقل العصبي الوارد الصادر عن IHCs هو الأحماض الأمينية ، الغلوتامات. ومع ذلك ، لا يزال من غير المؤكد ما هو المرسل (المرسلات) الوارد الذي يطلقه OHCs.

- الناقل العصبي المثبط الرئيسي في عضو كورتي الذي يتم إطلاقه بواسطة الخلايا العصبية الصادرة هو أستيل كولين (Ach).النواقل العصبية الأخرى التي يُعتقد أنها موجودة في الأذن الداخلية تشمل الدوبامين (الخلايا العصبية الصادرة الوحشية) ، وحمض جاما أمينوبوتريك ((GABA، والمادة P، والإنكيفالين ، والدينورفين..

الكمونات الحلزونية

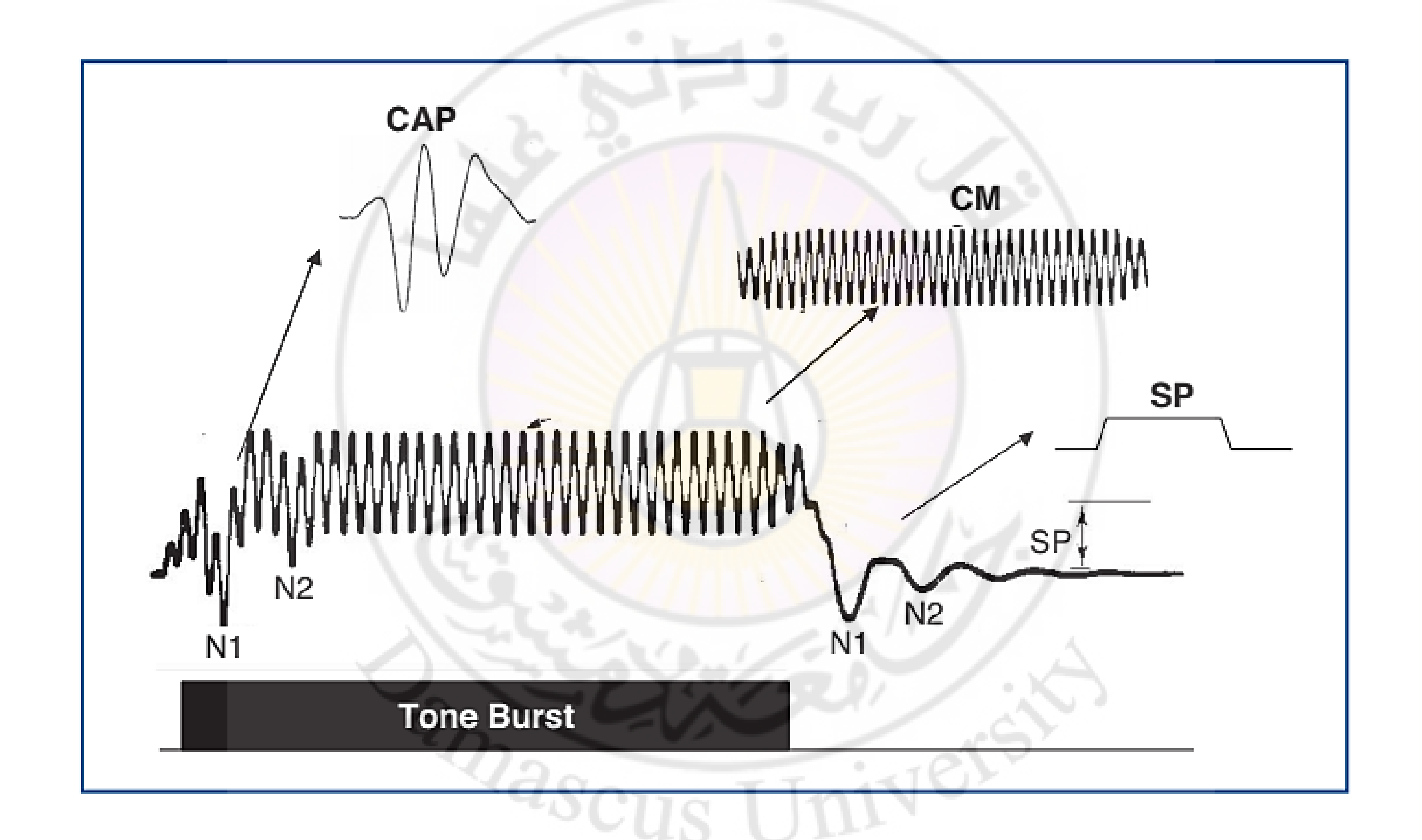
- الكمون داخل الحلزوني Endo-cochlear potential: يسمى أيضا كمون المستقبل Receptor Potential وهو كمون موجب ثابت بحدود +80 ميلي فولط داخل السقالة المتوسطة نسبةً للسقالتين الطبلية والدهليزية وهو أحد كمونات الراحة الحلزونية، ويشكل أساساً للآليات الشاردية المرتبطة بتفعيل الخلايا المشعرة.
- إن تشكل هذا الكمون يرتبط بوجود آليات فاعلة لتزويد اللمف الباطن بتراكيز عالية من شاردة البوتاسيوم حيث تلعب آليات النقل المرتبطة بال ATP والاتصالات الفجوية احد أهم هذه الآليات حيث أن أي خلل في هذه الآليات يسبب ضعف أو عدم تشكل الكمون داخل الحلزوني مسببا خللا في تنبه (نزع استقطاب) الخلايا المشعرة الحلزونية.

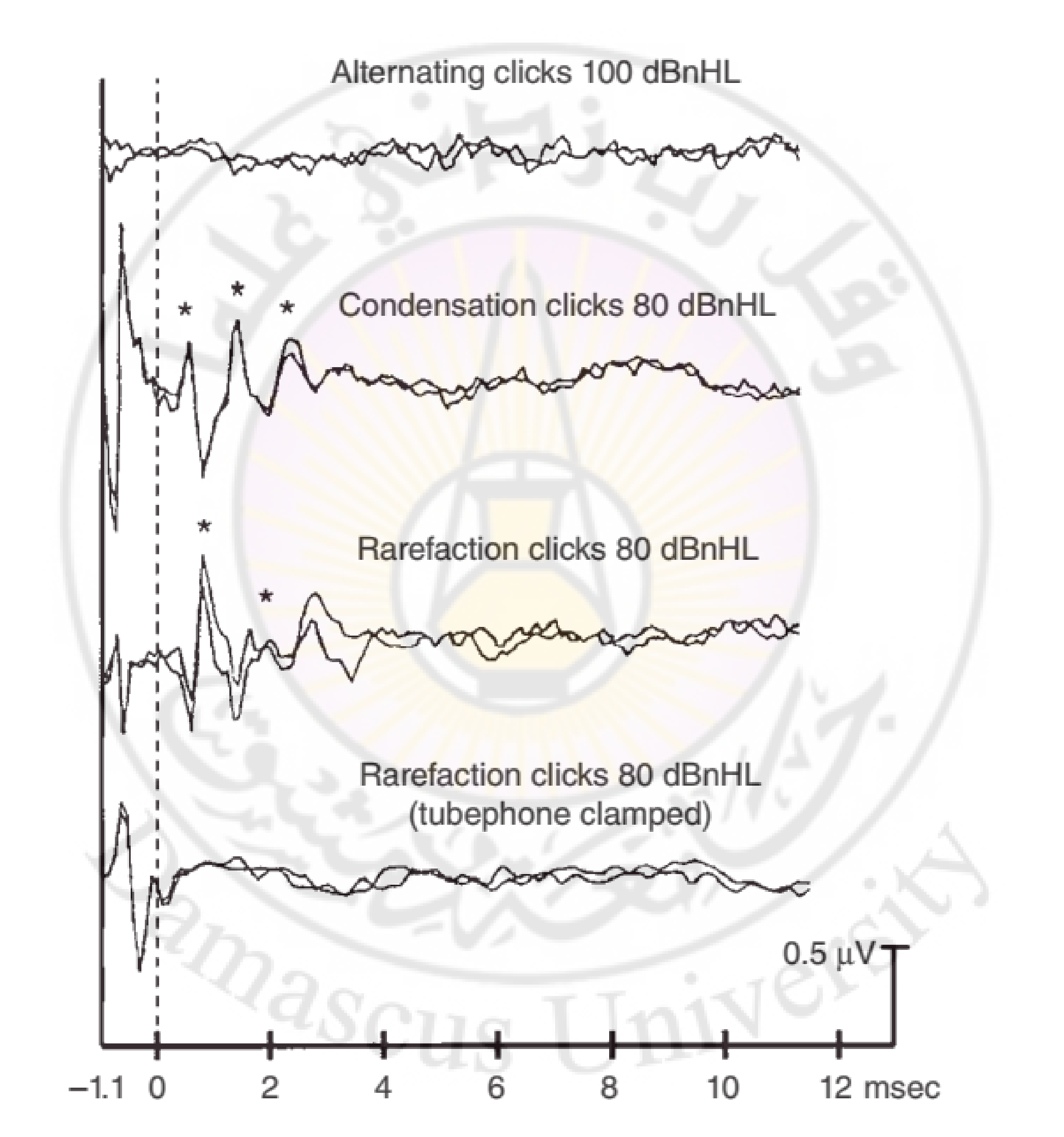


Perilymph
Scala Media
Reissner's Membrane
Stria
Vascularis
+80 mV
Endolymph
Scala Vestibuli
K+
Tectorial Membrane
Outer Hair
Cells
Spiral
Limbus
Inner
Sulcus
Tunnel
of
Corti
Spiral
Prominence
Spiral
Ligament
Supporting Cells
Osseous
Spiral Lamina
Basilar Membrane
Spiral
Ganglion
Cells
Inner Hair
Cells
Pillar Cells
Scala Tympani
Habenula
Perforata
Perilymph

مكروفونية الحلزون Cochlear Microphonic

- وهو كمون ينشأ في الحلزون استجابة للمنبه صوتي، ينجم عن حركة أهداب الخلايا المشعرة الخارجية وحركة الغشاء القاعدي بشكل متوافق مع المنبه وهو تيار متناوب يتبع قطبية المنبه ولذلك سمي بالمكرفوني.
- عند إعطاء منبه انبساطي يظهر الكمون المكرفوني بقطبية سالبة (اعتباريا) وعند إعطاء منبه انقباضي يظهر الكمون بقطبية موجبة وعند إعطاء منبه تناوبي يختفي الكمون المكرفوني.
- يمكن تسجيل الكمون المكرفوني CM باستخدام التقنيات و الأجهزة المتوافرة لتخطيط جذع الدماغ ووجوده دليل على سلامة الخلايا المشعرة الخارجية بالحلزون.

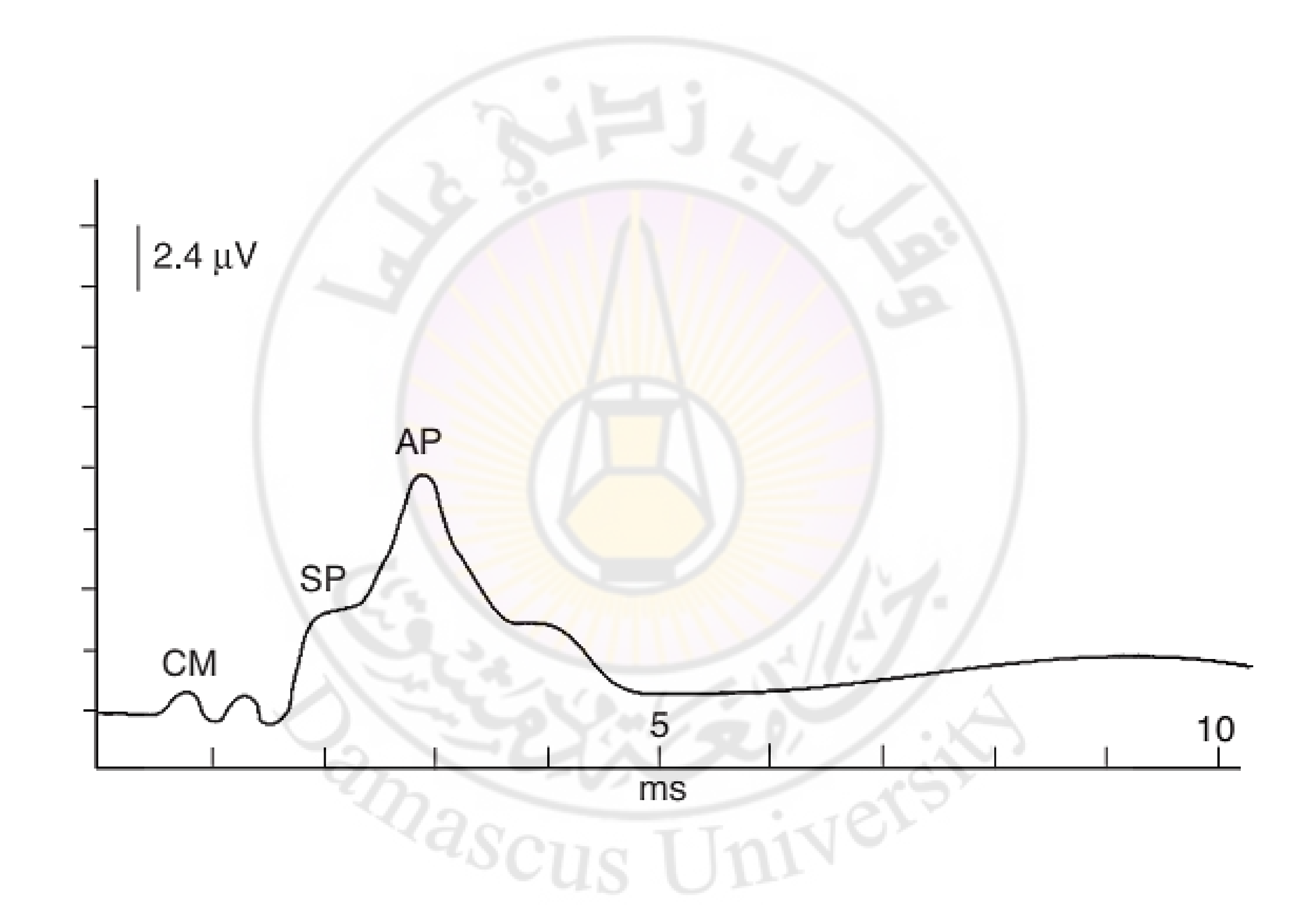

CAP
CM
SP
SP
N1
N2
N1
N2
Tone Burst



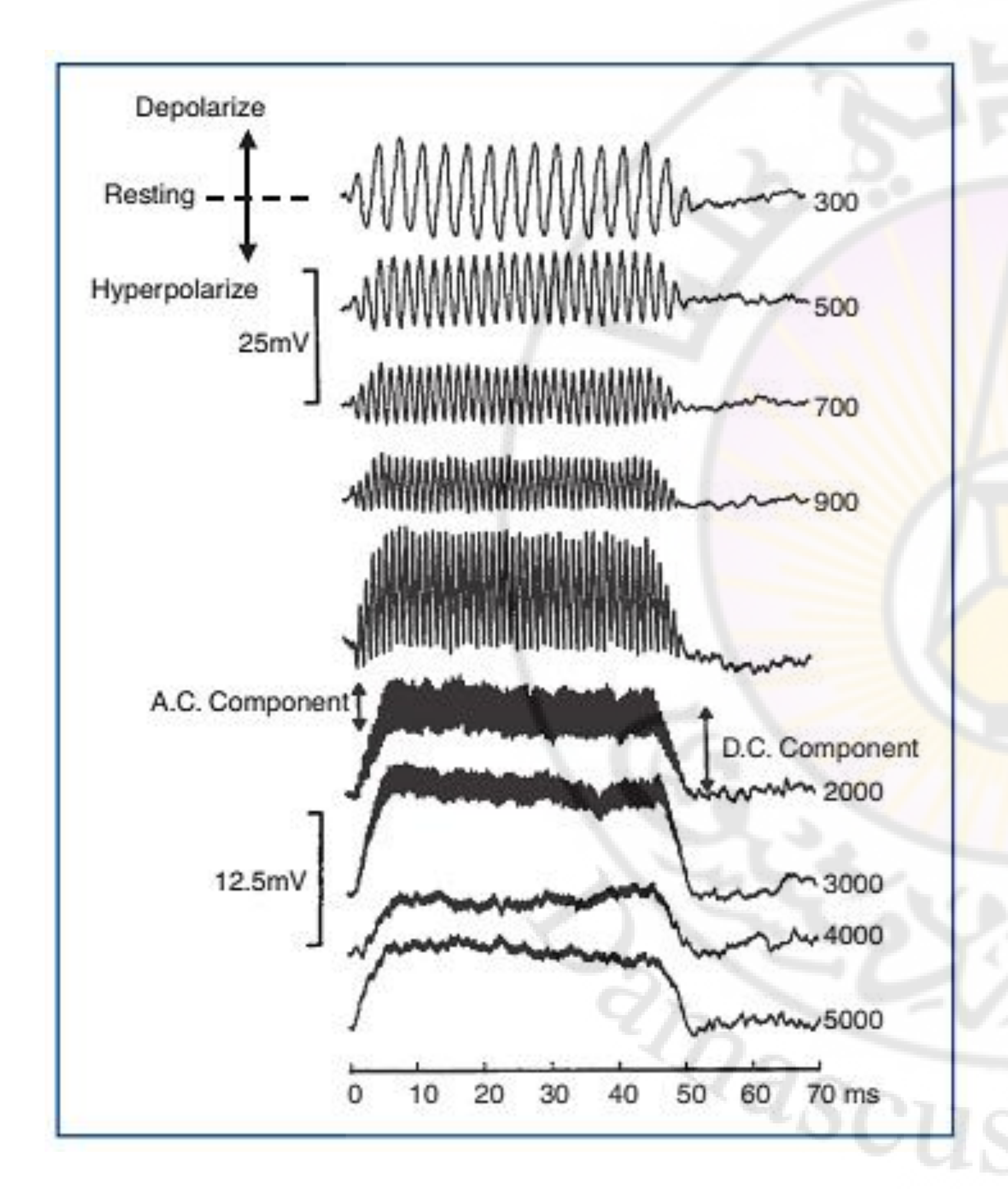
Alternating clicks 100 dBnHL
Condensation clicks 80 dBnHL
Rarefaction clicks 80 dBnHL
Rarefaction clicks 80 dBnHL
(tubephone clamped)
0.5 μV
–1.1
0
2
4
6
8
10
12 msec

الكمون الجمعي Summating Potential

- وهو عبارة عن جريان كهربائي مباشر DC يعبر عن وجود فرق بين الكمون داخل الخلوي وبين اللمف الباطن في القناة الوسطى.
- يظهر على شكل كمون سلبي يحاكي انزياح الغشاء القاعدي و يستمر طيلة استمرار المنبه الصوتي أي يتوافق مع مغلف المنبه Stimulus Envelope.
- يعبر الكمون الجمعي عن حركة الغشاء القاعدي عند التواتر النوعي وهو أكثر نوعية لحركة الغشاء القاعدي من اختبار CM.
- يمكن قياس الكمون الجمعي من خلال الكترودات قريبة جدا من مكان توليده كالالكترود داخل الطبلة أو داخل المجرى وقد لايظهر في حال تسجيله في الحقل البعيد بالالكترودات خلف الأذن.



2.4 μV
AP
SP
CM
5
10
ms



Intracellular response from an IHC in the base of the cochlea in response to an 80 dB SPL tone. frequency varied from 300 to 5000 hz. AC and DC components are labeled in the 2000-hz trace. The dashed line on the left side of the 300-hz trace shows the resting potential. note that the response to the 300-hz tone is asymmetric, with a larger response in the depolarizing than the hyperpolarizing direction. AC and DC responses are evident from the 300-hz trace to the 2000-hz trace. note that the AC response is nearly absent in the 5000-hz trace.

Compound Action Potential الكمون المركب

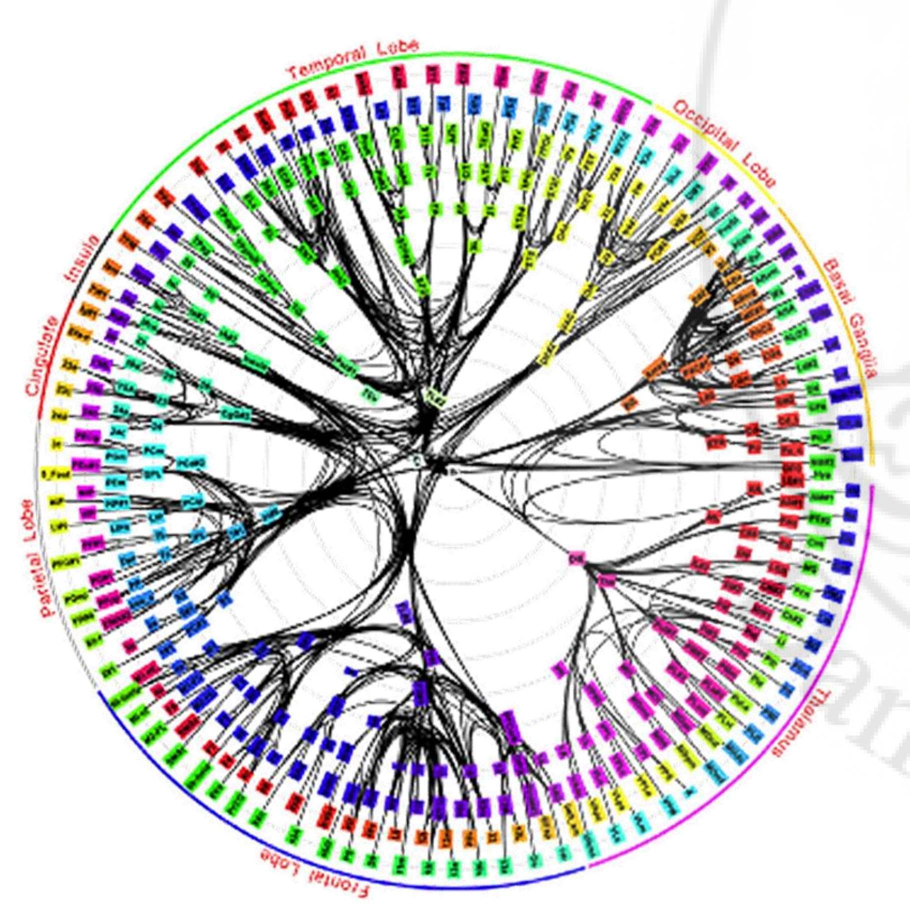
- ينشأ AP بشكل مستقيم من تنبيه عدد كبير من الخلايا المشعرة الداخلية بآن واحد سببه تفعيل آني متزامن لعدد كبير من ألياف العصب السمعي.
- يعبر هذا الكمون عن مرحلة تنبيه العصب السمعي من خلال الخلايا المشعرة الداخلية وهو يشكل الموجة الولى من اختبار جذع الدماغ.
- يغيب هذا الكمون او يضطرب في نقص السمع الناجم عن خلل الخلايا المشعرة الداخلية في حين يبقى سالما في مشاكل نقص السمع الناجمة عن العصب مع سلامة الحلزون.
- يمكن تسجيل الكمونات الثلاثة AP,SP,CM وتساعد في تشخيص العديد من الأمراض كالاعتلال العصبي السمعي وداء منيير.

العصب السمعي

- مايميز النظام العصبي السمعي هو الحجم الهائل للمدخلات والمخرجات في كل لحظة والتي تعالج على مستويات متعددة من الاهمية من خلال الارتباطات الوظيفية بين هذا الجهاز وباقي عناصر الجهاز العصبي والانظمة الحسية الاخرى ضمن مفهوم الشبكات الدماغية .Brain Network

- إن الفهم الدقيق لآلية عمل الشبكات يجيب على التساؤل القائم حول وظيفة عنصر معين ودرجة تعقيدها وتداخلها اذ لا يمكن الان ان ننسب وظيفة واحدة لمكون واحد وانما كل مكون يسهم في العديد من الوظائف وبدرجات مختلفة من الاهمية والاولوية حسب دوره في كل شبكة من الشبكات الدماغية اذ يمكن للمكون العصبي ان يكون محطة هامة في عدة شبكات عصبية وممكن ان يكون محطة ارتباط وتداخل بين الشبكات.

- هذه المعطيات الجديدة في فهم علم الأعصاب وضعت حجر الأساس لفهم مبادئ المرونة العصبية Neuroplasticityوالخروج بها من المستوى الخلوي النسيجي (استطالات وزيادة مشابك) إلى المستوى الوظيفي السريري (ارتباطات وشبكات) مع العلم أن هذه الارتباطات ممكن أن تكون تشريحية كالارتباطات بلين العصبونات وممكن تكون وظيفية من خلال نقل الأثر Functional Connectivity.



الترميز Coding

- يعد الكلام هو الصوت الأكثر أهمية بالنسبة للانسان، ومن الطبيعي طرح السؤال التالي: كيف يميز الجهاز العصبي السمعي أصوات الكلام؟
- هذا سؤال معقد للغاية ومن الواقعي طرح أسئلة أبسط مثل كيفية التمييز بين الترددات.
- يعتبر تمييز التردد من السمات البارزة للوظيفة السمعية وقد تمت دراسة أساسه الفزيولوجي على نطاق واسع لأنه من المفترض أنه يلعب دورًا مهمًا في التمييز بين الأصوات الطبيعية.
- سنناقش أولاً تمثيل التردد في الجهاز العصبي السمعي كترميز مكاني وكشفرة زمنية وبعد ذلك سنناقش الأهمية النسبية لهاتين الطريقتين المختلفتين لترميز التردد للتمييز بين الأصوات المعقدة.
- تخضع الشفرة العصبية للأصوات المعقدة لتحولات أكثر شمولاً من تلك التي تثيرها النغمات الصافية.
- إن قدرتنا على تمييز التغييرات في طيف الأصوات المعقدة عالية أيضًا ويفترض أن هذه القدرة ضرورية للتمييز الكلام.
- تعتبر التغييرات في التردد (الطيف) والسعة من السمات البارزة في التمييز السمعي.

ترميز التواتر في الجهاز العصبي السمعي

- يمكنن للاذن البشرية التميز بين التغييرات الصغيرة جدًا في تواتر النغمة الصافية.
- حتى الأفراد المدربين بشكل معتدل يمكنهم اكتشاف الفرق بين نغمة 1000 هرتز ونغمة 1003 هرتز (ثلاثة أعشار فرق 1٪ في التردد).
- أثارت الحساسية الهائلة للجهاز السمعي البشري تجاه التغيرات في التردد فضول العديد من الباحثين وبُذلت جهود كبيرة لتحديد الآلية التي تميز الأذن والجهاز العصبي السمعي من خلالها هذه الفروق الدقيقة في تردد النغمة الصافية.

ترميز التواتر في الجهاز العصبي السمعي

- تم تقديم فرضيتين لشرح الأساس الفزيولوجي لتمييز التردد.

1. الفرضية المكانية: والتي تقول بأن تمييز التردد يعتمد على انتقائية الغشاء القاعدي للتردد والذي يتم تمثيله من خلال اهتزاز الغشاء القاعدي في مكان معين من الغشاء القاعدي للحلزون حسب كل تواتر.
2. الفرضية الزمانية: وتقول بأن تمييز التردد يعتمد على ترميز شكل الموجة (temporal pattern) للأصوات في نمط تفريغ الخلايا العصبية السمعية ، والمعروف باسم قفل الطور (phase locking).

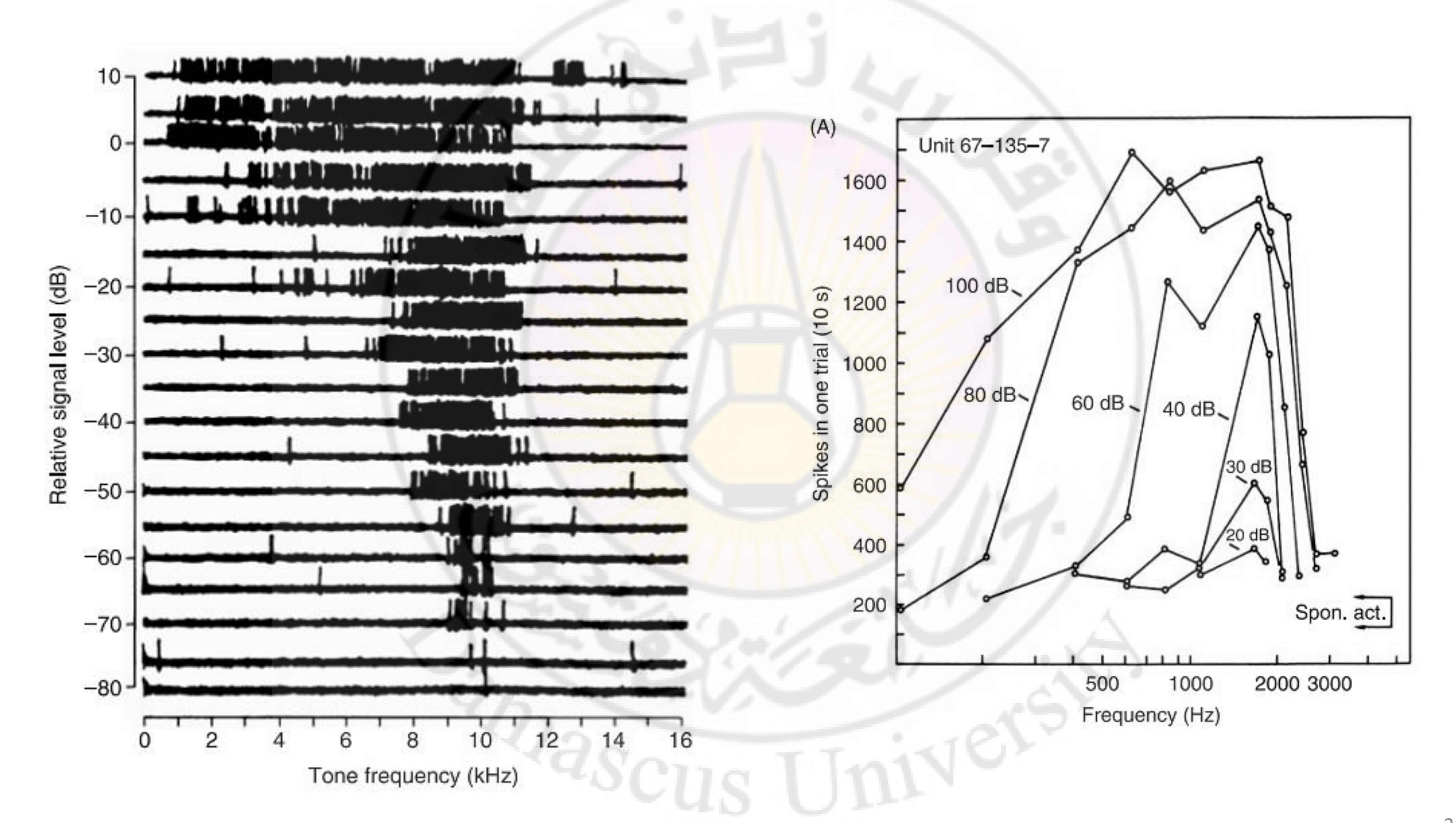
- هناك دليل تجريبي كبير على أن كلا النمطين من ترميز المكان والزمان للصوت يتم في استجابات الخلايا العصبية للجهاز العصبي السمعي الصاعد بما في ذلك القشرة الدماغية السمعية.

Frequency Selectivity in the Auditory Nervous System

- تمتاز جميع محطات الجهاز العصبي السمعي بالانتقائية (الحساسية) التواترية والتي يكون منشؤها في الحلزون ويتم حفظها في العصب السمعي وكامل نويات جذع الدماغ السمعية وصولا إلى نورونات القشر السمعي.
- تمتاز منحنيات تنغيم الخلية العصبية (الليف العصبي السمعي) بأنها بارزة جدا وهي ناتجة عن اهتزاز الغشاء القاعدي النوعي والذي يعمل دور فلتر محدود النطاق Band-pass filter نوعي للتواتر توافقا مع النظرية المكانية.
- في حين تعتبر وظيفة الخلايا المشعرة هي المسؤولة عن تعديل استجابة اهتزاز الغشاء القاعدي وبالتالي ترميز النمط الزمني.
- وبالتالي فإن مكان الاهتزاز وسعته في الحلزون هي المحدد الأساسي للترميز الطيفي للأصوات.
- يتم ترجمة هذا الاهتزاز على شكل تنبيه عصبي واطلاق كمونات عمل في العصب السمعي discharge pattern تكون عبارة عن استجابة لتبدل الصوت الناجم من اهتزاز الغشاء القاعدي وليس للصوت نفسه (أي بعبارة اخرى استجابة للصوت المفلتر - وتبقى المناطق الاخرى جاهزة للتنبيه متاثرة باجزاء الطيف المختلفة).

Frequency Selectivity in the Auditory Nervous System

- تعرف عتبة الليف Fiber`s threshold بأنها ادنى مستوى صوت ينتج عنه تغير ملحوظ في معدل تفريغ الألياف.
- تكون عتبة الألياف العصبية هي الأدنى عند تردد معين وهذا هو التردد المميز للألياف أو التواتر النوعيCharacteristic frequency CF.
- يتسع نطاق الاستجابة الترددية للألياف العصبية السمعية مع زيادة شدة الصوت (الشكل)، هذا يعني أنه يتم تنشيط المزيد من الألياف العصبية مع زيادة شدة النغمة فوق عتبتها.
- تسمى منحنيات استجابة الليف العصبي للتواتر مع تبدل الشدة باسم منحنى عتبة تردد الألياف العصبية أو منحنى التنغيم tuning curve.
- هذه المنحنيات هي التمثيل الأفضل للانتقائية التواترية في الياف العصبي السمعي وعند تمثيل منحنيات التواتر لمجموعة من الالياف معا تكون عبارة عن محصلة منحنيات التواتر لكل ليف مجموعة معا لتمثل استجابة العصب السمعي لطيف الصوت المركب (الشكل).
- تختلف منحنيات التنغيم الخاصة بالتواترات المنخفضة عن تلك الخاصة بالتواترات المرتفعة



Relative signal level (dB)
10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−70
−80
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Tone frequency (kHz)
(A)
Unit 67−135−7
Spikes in one trial (10 s)
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
100 dB
80 dB
60 dB
40 dB
30 dB
20 dB
Spon. act.
500
1000
2000
3000
Frequency (Hz)

منحنيات التنغيم التواترية

- من الملاحظ أن منحنيات تنغيم التواترات المرتفعة حادة جدا وعميقة في حين تكون منحنيات تنغيم التواترات المنخفضة أكثر اتساعا.
- يظهر الشكل أيضا عتبات تنبيه كل واحد من هذه المنحنيات والتي تختلف حسب التواتر.
- تكون منحنيات التنغيم الخاصة بالتواترات المنخفضة أكثر تناظرا من تلك الخاصة بالتواترات المرتفعة.
- تكون منحنيات التنغيم للألياف التي تمتلك نفس التواتر النوعي متماثلة أيضا.

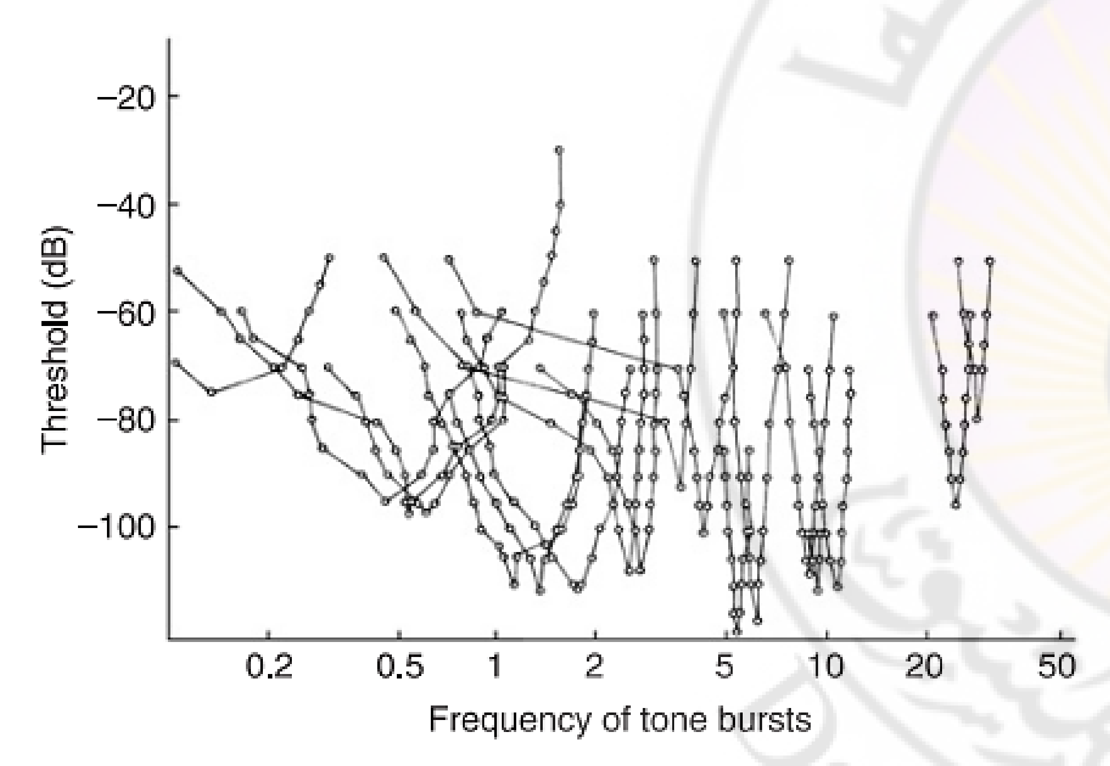
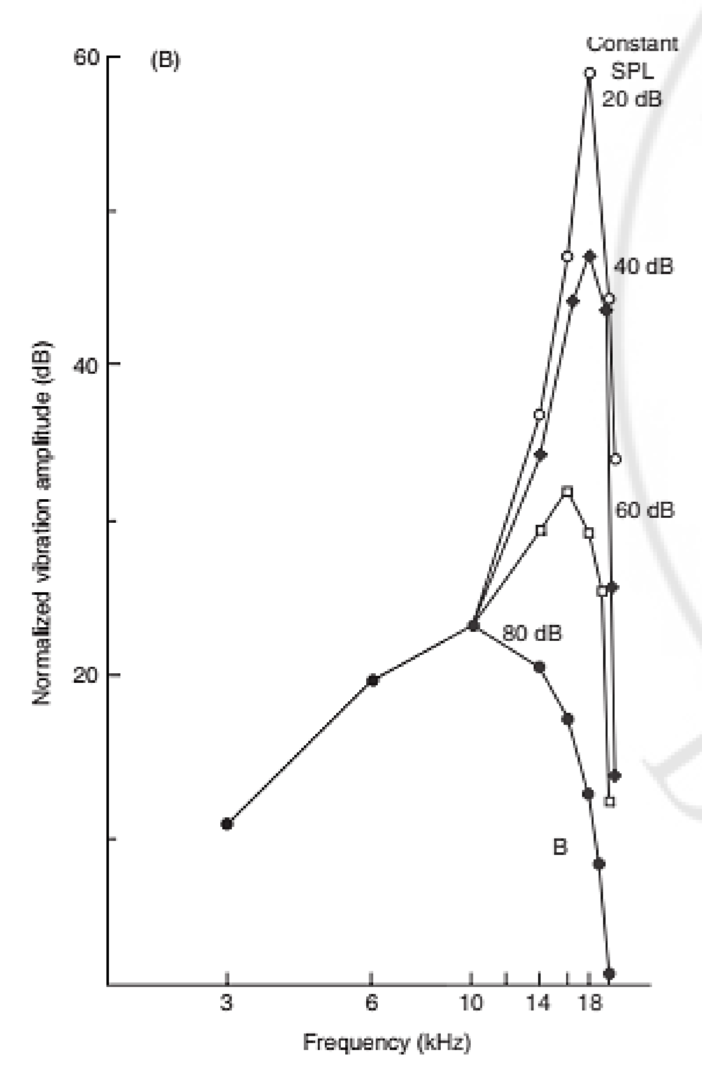


FIGURE 6.3 Typical frequency threshold curves of single auditory nerve fibers in a cat. The different curves show the thresholds of individual nerve fibers. The left-hand scale gives the thresholds in arbitrary decibel values and the horizontal scale is in kHz (reprinted from Kiang et al., 1965, with permission from MIT Press).

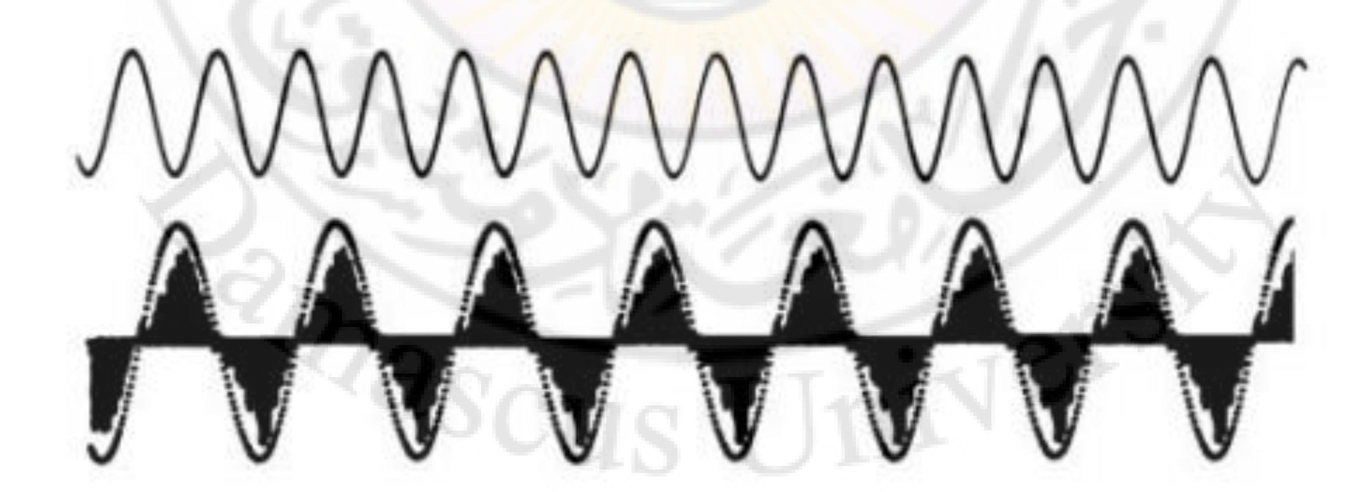
Cochlear Non-linearity Is Reflected in Frequency Selectivity of Auditory Nerve Fibers

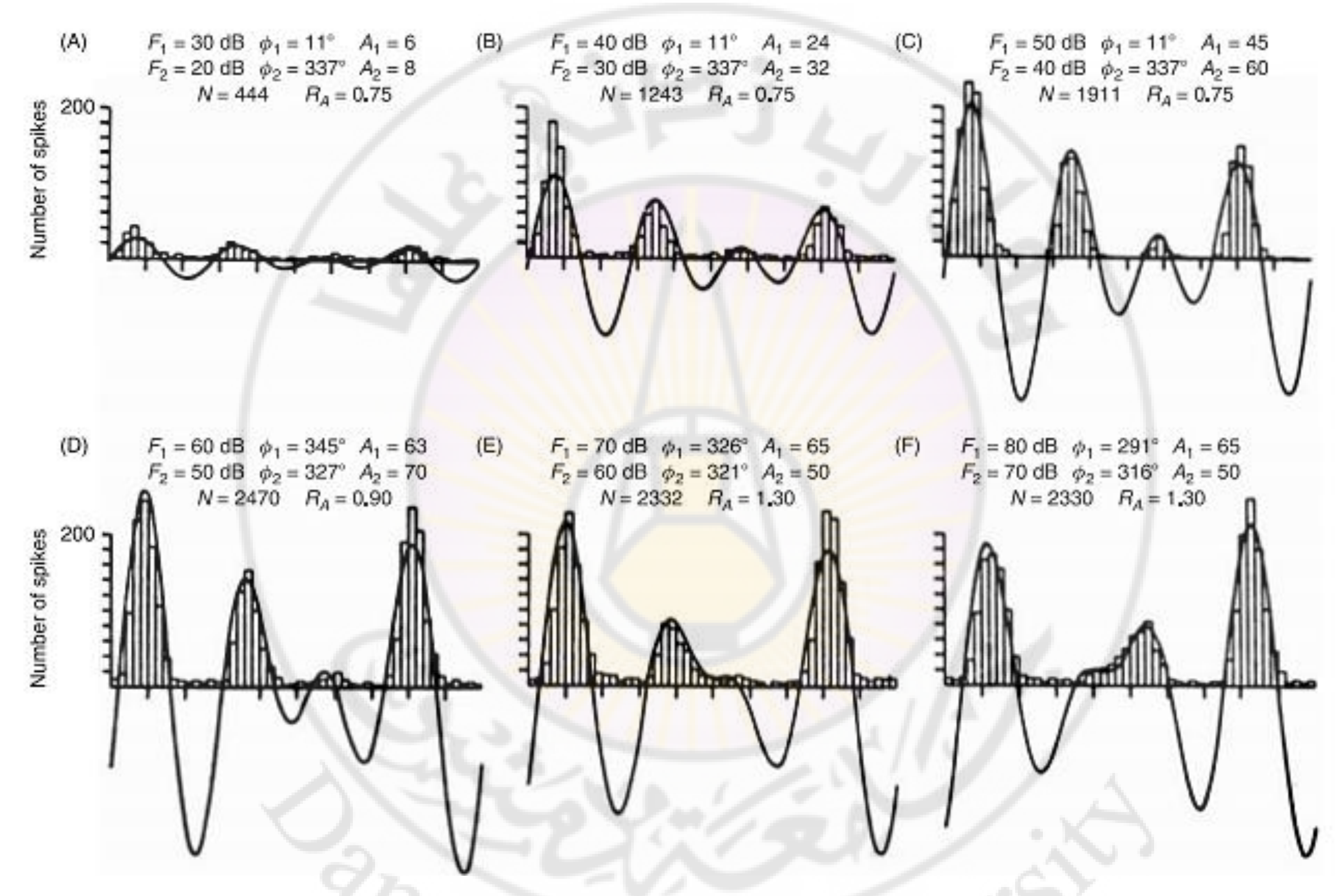


- إن عدم خطية حركة الغشاء القاعدي تجعل الانتقائية التواترية معتمدة على شدة الأصوات التي تصل إلى الأذن.
- تنعكس اللاخطية الحلزونية في منحنيات تنغيم ألياف العصب السمعي.
- أظهرت الدراسات أن الانتقائية التواترية تنخفض كلما ازدادت شدة المنبه.
- لا يقتصر الأمر على عرض منحنيات تنغيم الألياف العصبية السمعية التي تتغير مع شدة الصوت ولكن أيضا التواتر الذي تنحرف باتجاهه هذه المنحنيات يعتبر هاما.
- إجمالا تنحرف منحنيات التنغيم باتجاه التواترات المنخفضة بشكل تدريجي مع ازدياد شدة التنبيه ابتداء من قرب العتبة وصولا إلى شدات عالية تفوق 75 ديسبل فوق العتبة.

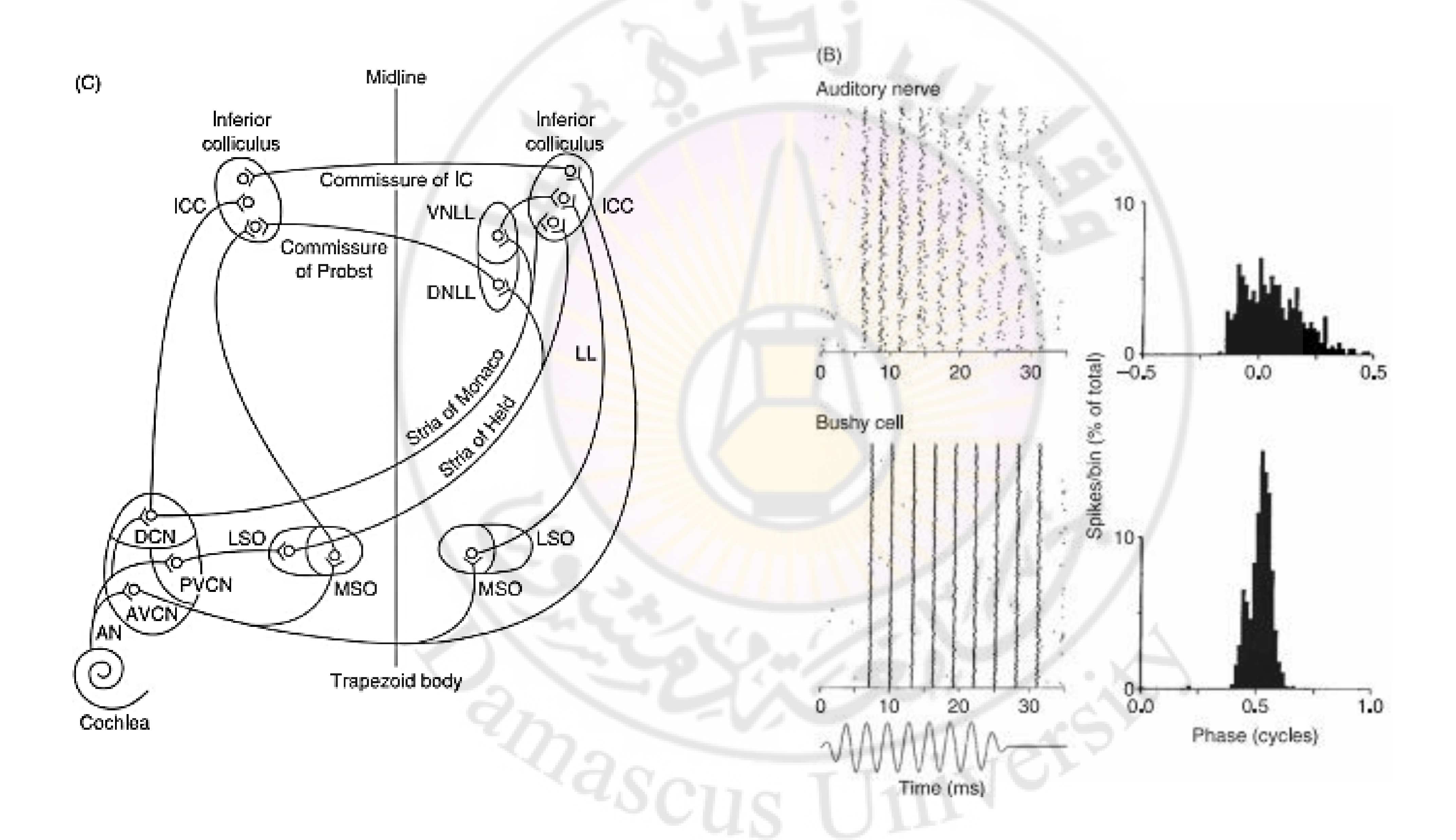
CODING OF TEMPORAL FEATURES

- هناك دليل كبير على أن العصب السمعي يزود الجهاز العصبي بترميز عصبي مقفل الطور Phase-locked على النمط الزمني لاهتزاز الغشاء القاعدي.
- إن قفل الطور لليف العصبي لمنبه بسيط يمكن التنبؤ به ودراسته ولكن هناك القليل من المعلومات حول هذه الخاصية للأصوات المركبة.
- إن مفهوم قفل الطور يعني أن تنحصر استجابة الليف العصبي في طور محدد للمنبه في حين يرسم مخطط استجابة الليف طيفا يتوافق مع شكل المنبه (وأوضح مثال هو قفل طور الليف العصبي السمعي لمنبه نغمة صافية).



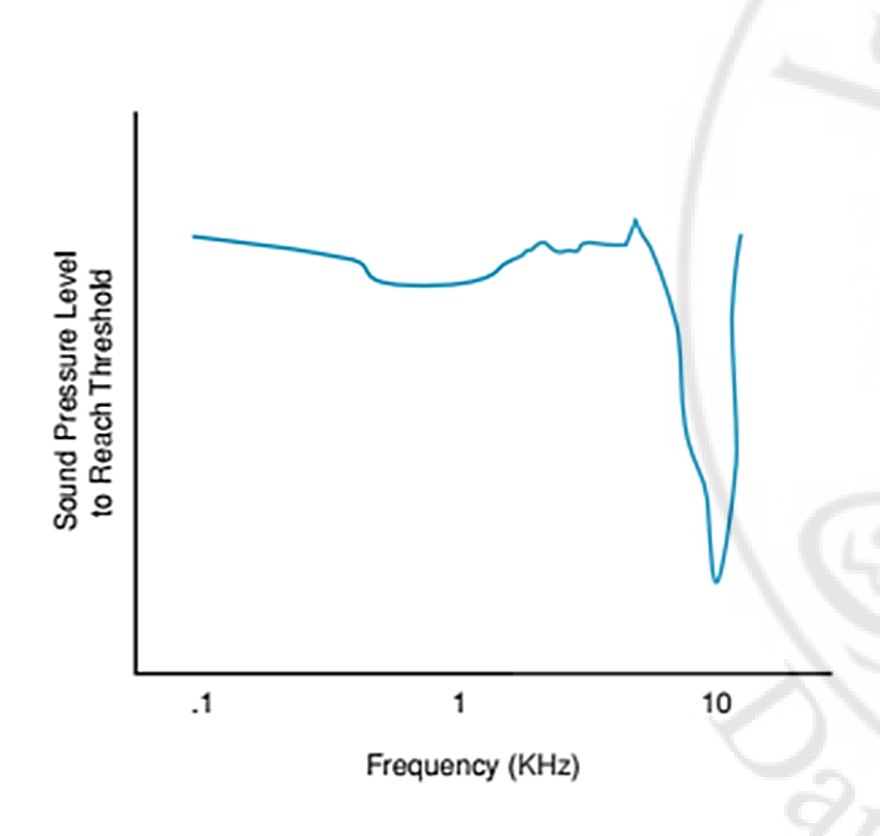


Period histograms of discharges in a single auditory nerve fiber of a squirrel monkey to stimulation with two tones of different frequencies that were locked together with a frequency ratio of 3:4 and an amplitude ratio of 10 dB. The different histograms represent the responses to this sound when the intensity was varied over a 50-dB range.



(C)
Midline
Inferior colliculus
Inferior colliculus
Commissure of IC
ICC
ICC
VNLL
Commissure of Probst
DNLL
LL
Stria of Monaco
Stria of Held
DCN
LSO
LSO
PVCN
MSO
MSO
AVCN
AN
Trapezoid body
Cochlea
(B)
Auditory nerve
Bushy cell
Spikes/bin (% of total)
Phase (cycles)
Time (ms)

الاستجابة الكهربائية لليف العصبي السمعي

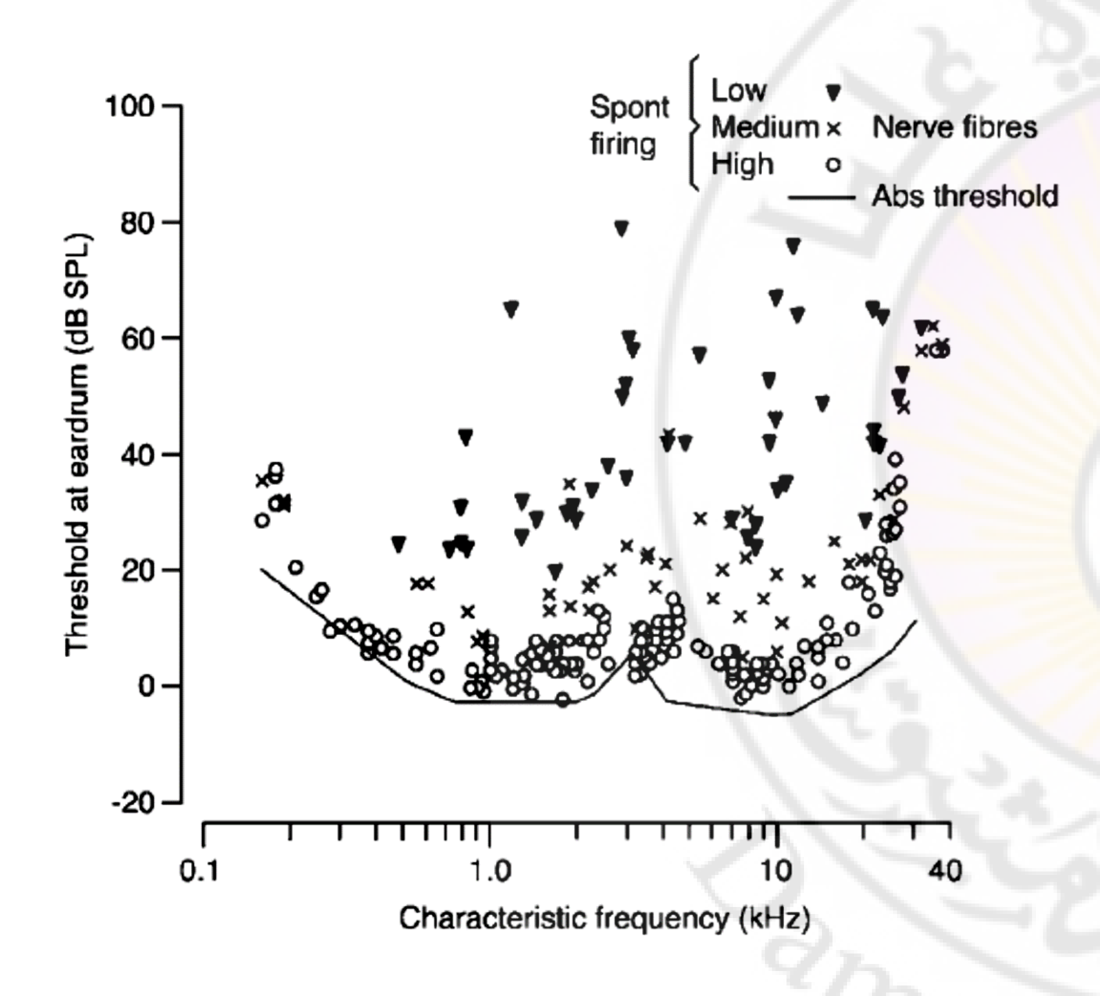


- هناك نوعان من ألياف العصب السمعي. ألياف ذات معدل تفعيل عفوي منخفض (عتبة عالية) high threshold وألياف ذات معدل تفعيل عفوي مرتفع high spontaneous rate (عتبة منخفضة) الأولى تحتاج لشدة تنبيه عالية لتتفعل وليس لها نشاط عفوي يذكر في حين أن الثانية تستجيب لأخفض المنبهات شدة وهي المسؤولة عن سماع الأصوات المنخفضة قرب العتبة السمعية، في حين تتفعل الألياف عالية العتبة عند ازدياد شدة المنبه.

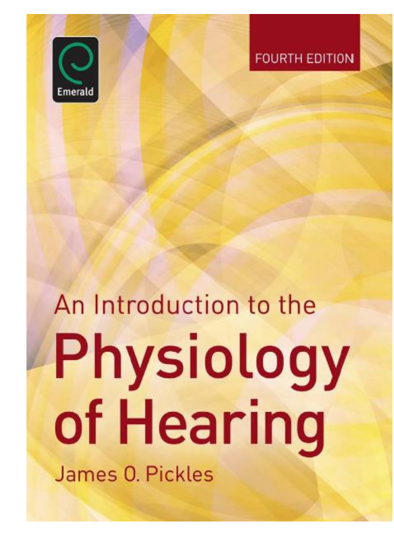
- تتميّز الألياف منخفضة العتبة بانتقائية تواترية عالية فكل مجموعة من الألياف تختص بنقل إشارة كهربائية لمنبه صوتي ذو تواتر معين متوافقة بذلك مع التوزع التواتري للحلزون ويبدي مخطط تفعيل الليف العصبي ذروة حادة عند التواتر المخصوص.

(مثال: شكل مخطط تنبيه الليف العصبي 1000 هرتز).

ترميز الشدة في الليف العصبي السمعي



- هذا التنوع في معدل فعالية الألياف العصبية هو المسؤول عن حفظ ترميز التواتر في الألياف منخفضة العتبة وبنفس الوقت ترميز الشدة من خلال وجود نوعين من الألياف العصبية، حيث تستطيع الألياف منخفضة العتبة بالاستجابة للحد الأدنى من الاشارة الصوتية وعند ازدياد شدة المنبه بالتدريج يزداد معدل تنبيه هذه الألياف ليصل ذروته وعندها تبدأ الألياف مرتفعة العتبة بالتنبيه لتستجيب للأصوات العالية الشدة، حيث يسمى الفرق بين أخفض صوت يمكن سماعه وأعلى صوت مسموع يمكن تحمله بالمجال الحيوي الديناميكي Dynamic range والذي يعكس سلامة هذه الألياف.



The degree of frequency selectivity has been expressed in two ways:

- the first way: is by the slopes of the tuning curve above and below the characteristic frequency.

shallower

steeper, 1000 dB/octave

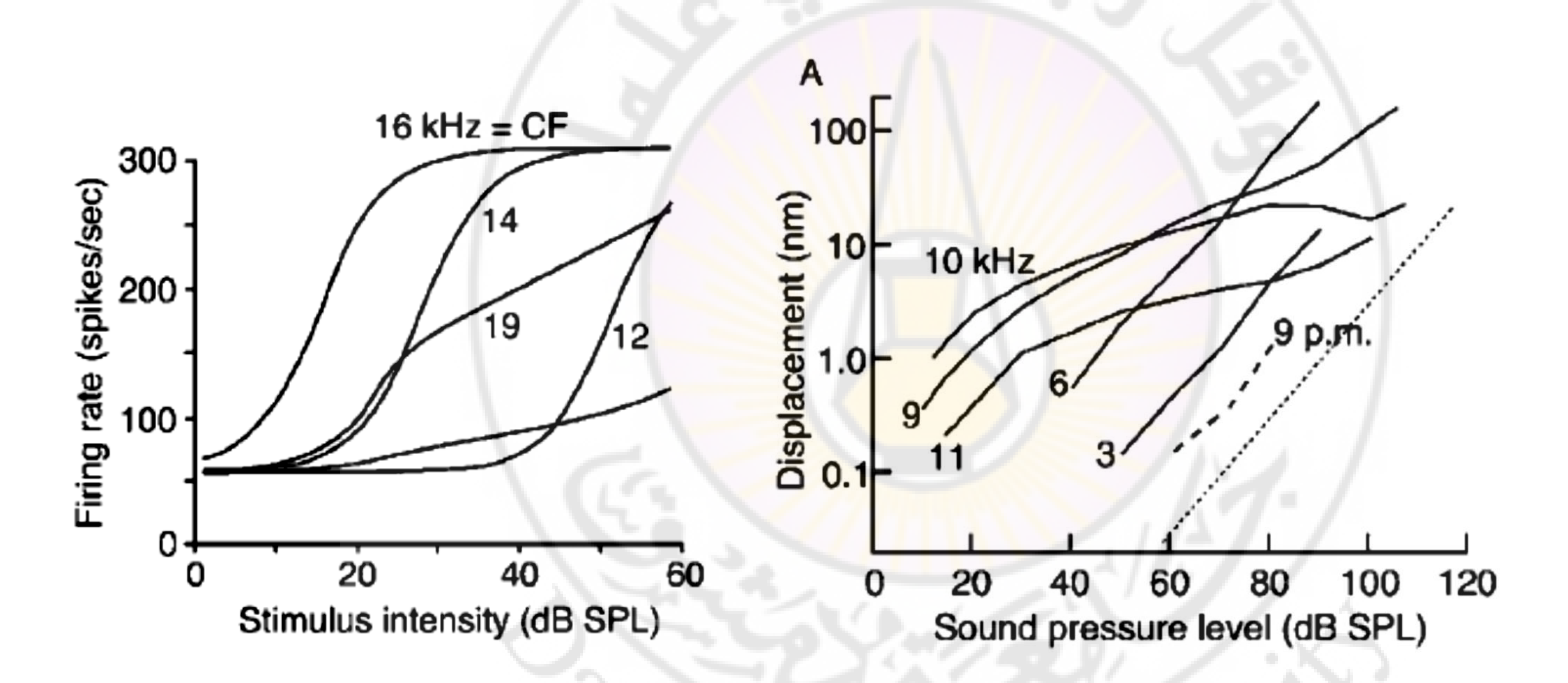
80 to 250 dB/octave

100 to 600 dB/octave

100
80
60
40
20
0
–20

0.1
1.0
10

Response to tones as a function of stimulus intensity:



FOURTH EDITION

An Introduction to the Physiology of Hearing

James O. Pickles

The intensity behaviour of the auditory nerve mirrors that of the basilar membrane, which shows a generally similar dependence on frequency in relation to the characteristic frequency, although it does not saturate quite so sharply, fig 3.13



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 8

Physiology of Hearing

(Physiology of the Auditory Nervous System)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

May 2023

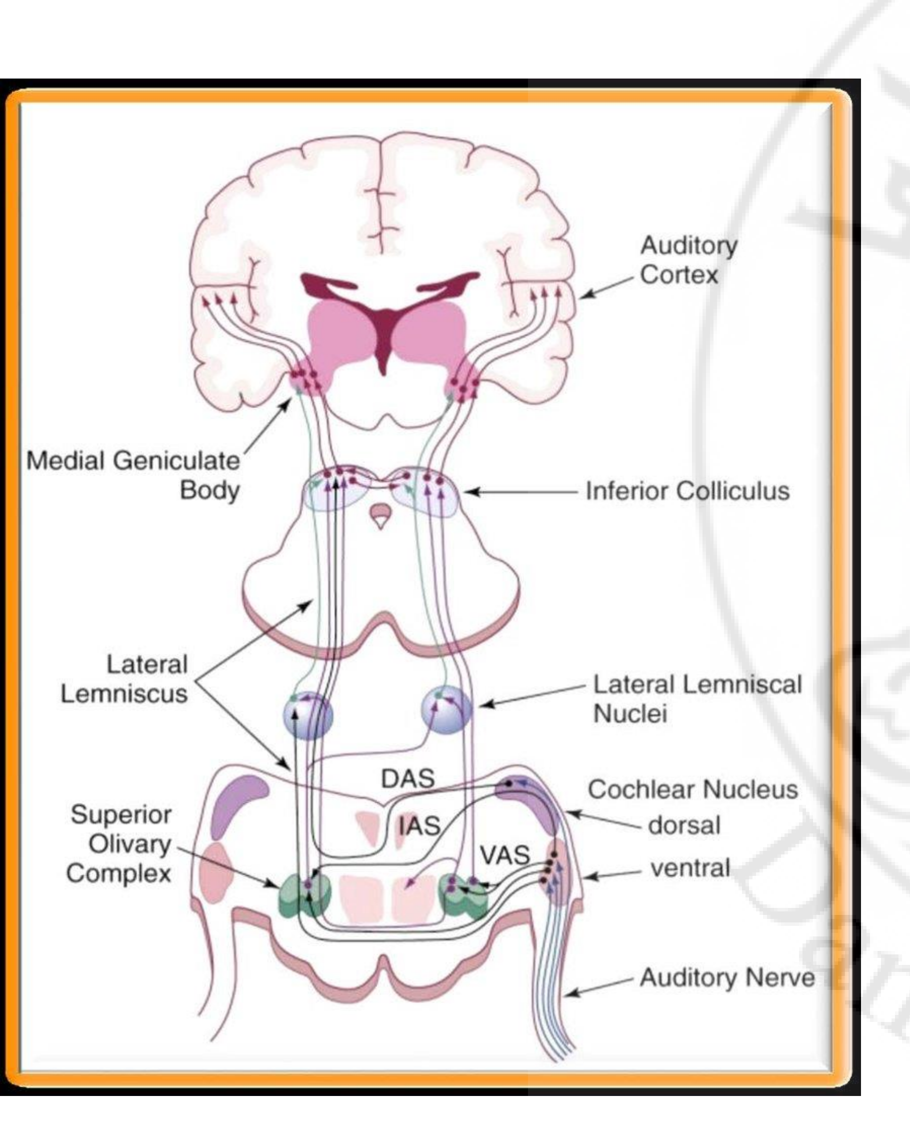
Auditory Nerve (Function)

- **Frequency discrimination:**
  - Sharp frequency tuning due to OHCs function.
  - Different fibers for different frequencies.
  - Phase locking.
- **Intensity discrimination:**
  - Firing rate.
  - Number of activated neurons.
  - Magnitude of basilar membrane displacement.
  - Spread of excitation.
- **Temporal discrimination:**
  - Phase locking.
- **Short-term adaptation:**
  - Enhance spectral contrasts between successive segments of the signal by:
  - Decreasing the responsiveness to successive stimuli
  - Continuing responsiveness to novel stimuli.
- **Suppression:**
  - The reduction in response of the auditory nerve fibers to a signal in the presence of another signal.

Disorders of the 8th nerve auditory:

- Significant impact on audition and auditory processing.

استجابة السبيل السمعي المركزي



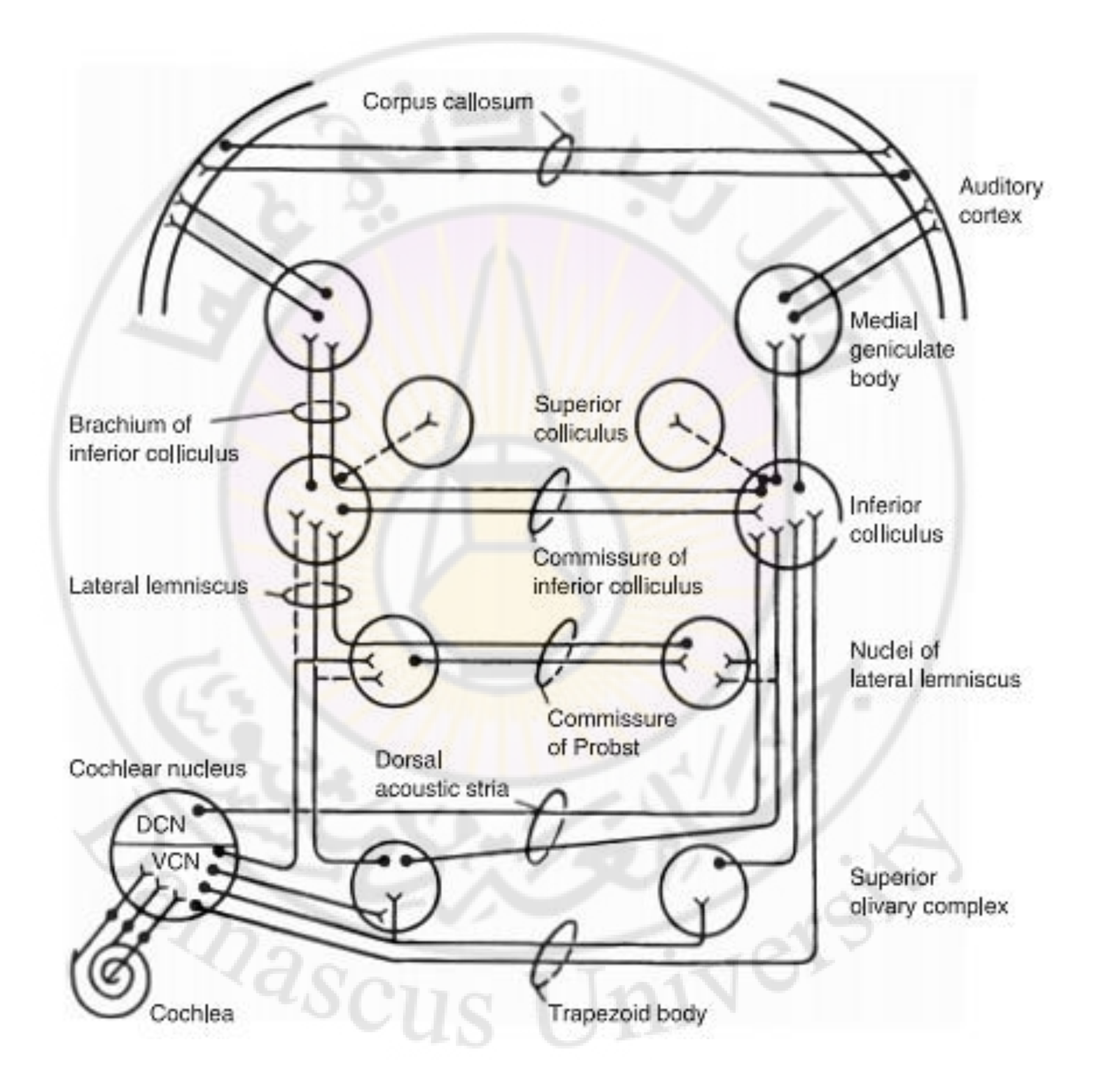
النواة الحلزونية (CN): في جذع الدماغ – كمونات عمل و نمط تفعيل يشبه إلى حد كبير نمط تفعيل ألياف العصب السمعي بهدف حفظ الانتقائية التواترية.

المركب الزيتوني العلوي (SOC): هي محطة التعامل بين الأذنين Binaural interaction حيث يتم في هذه المحطة تصالب 80% من ألياف السبيل السمعي كما يتم تحديد جهة الصوت Localization اعتماداً على فرق زمن وصول الصوت ITD (Inter aural time difference) وفرق شدة الصوت بين الأذنين ILD

الأكيمة السفلية IC: تتلقى تعصيب مزدوج من كلا الطرفين من المركب الزيتوني ووارد مباشر من النويات الحلزونية CN. عصبونات هذه النواة تبدي منحنيات تنغيم Tuning curve من شأنها حفظ الانتقائية التواترية التي تم ترميزها في ألياف العصب السمعي .

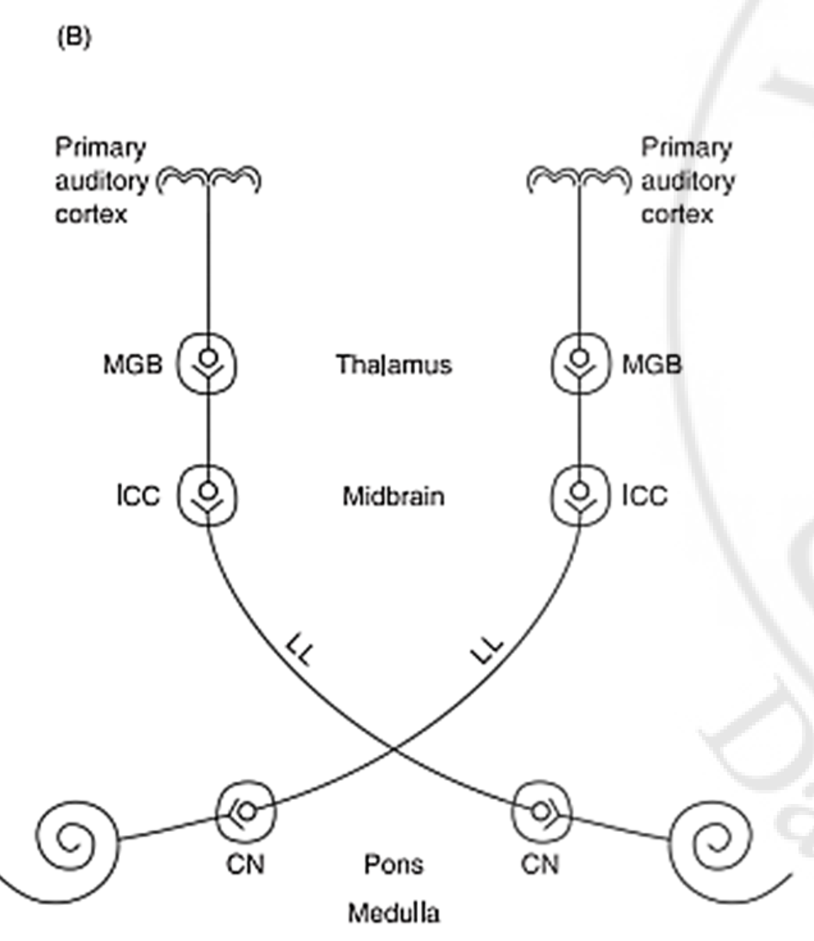
الجسم الركبي الأنسي MGB: هي محطة الوصول في المهاد وهي آخر الطريق الحسي في جذع الدماغ، القسم البطني منها يصدر المعلومات السمعية مباشرة إلى القشر السمعي الأولي في الفص الصدغي، أما القسم الظهري فلديه ارتباطات مع مناطق مخية أخرى.

- تبدي عصبونات الجسم الركبي الأنسي منحنيات تنغيم حادة جداً شبيهة لمنحنيات تنغيم العصب السمعي وبالتالي تقوم بحفظ الانتقائية التواترية.

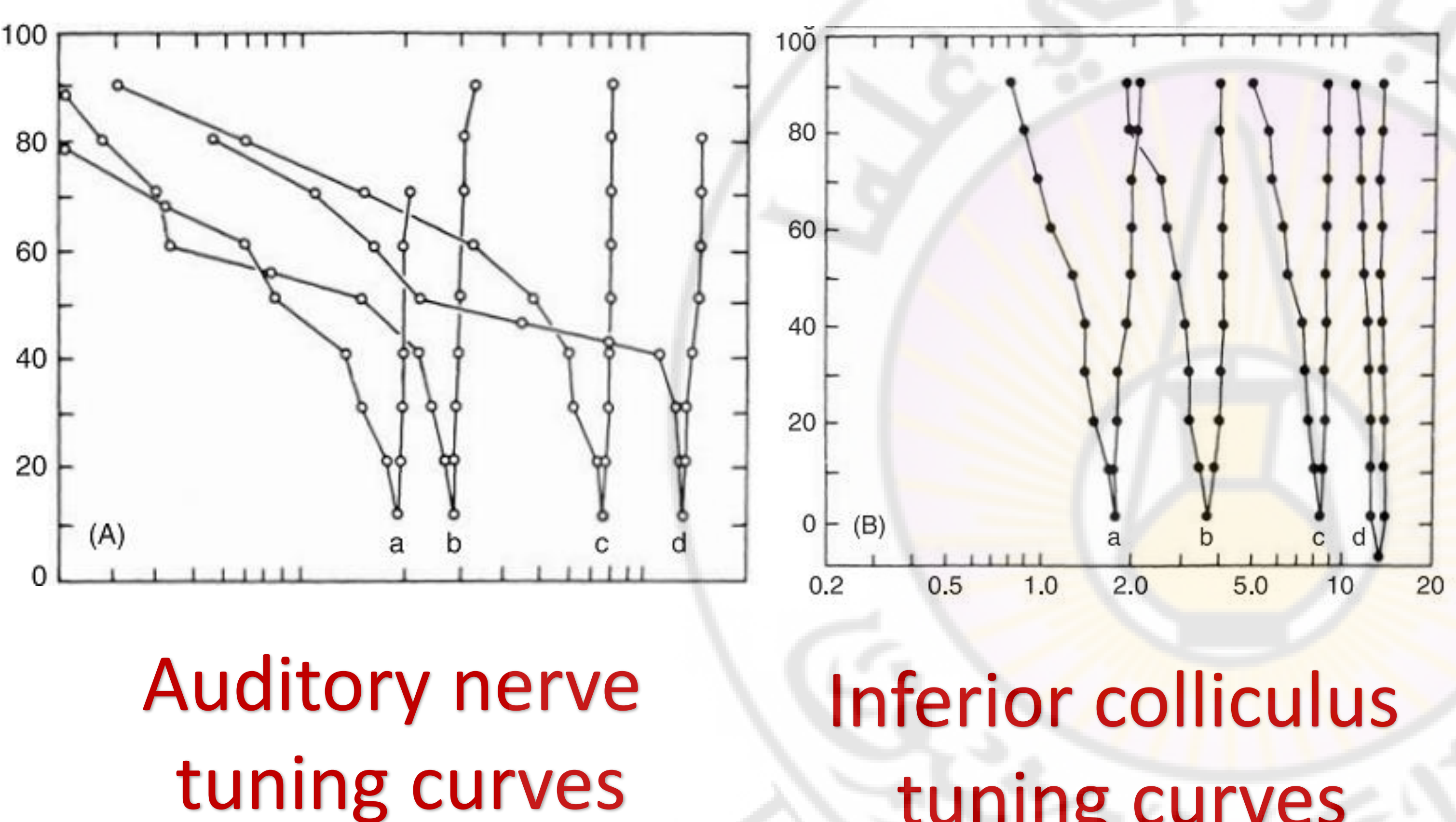


Corpus callosum
Auditory cortex
Medial geniculate body
Superior colliculus
Brachium of inferior colliculus
Inferior colliculus
Commissure of inferior colliculus
Lateral lemniscus
Nuclei of lateral lemniscus
Commissure of Probst
Dorsal acoustic stria
Cochlear nucleus
DCN
VCN
Superior olivary complex
Cochlea
Trapezoid body

Frequency Tuning in Nuclei of the Ascending Auditory Pathways

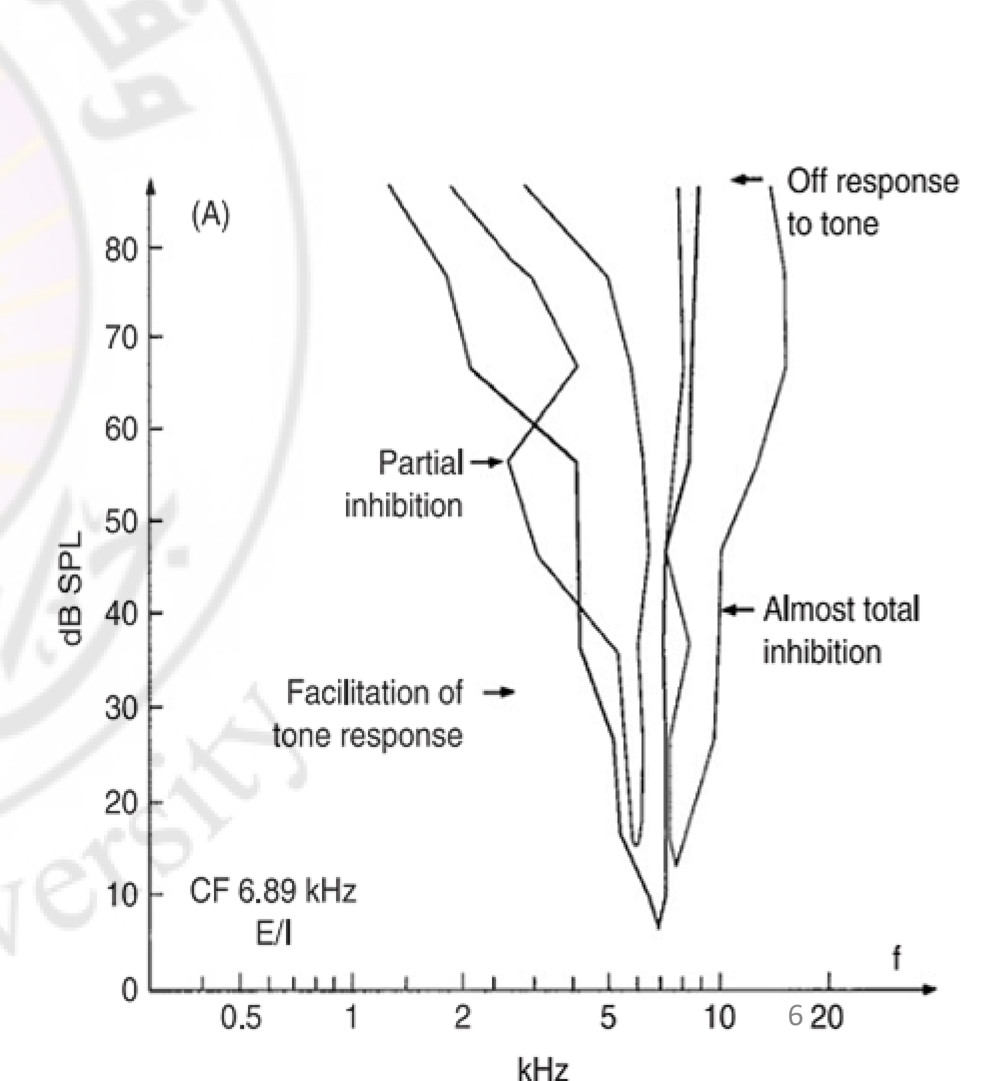


- إن جميع الخلايا في نوى السبيل السمعي الصاعد بما في ذلك القشرة الدماغية السمعية تظهر انتقائية تواترية واضحة. وهكذا يبدو أن انتقائية التردد هي سمة بارزة لاستجابات الخلايا العصبية في جميع النوى السمعية.
- تكون منحنيات تنغيم النواة الحلزونية شبيهة بتلك المسجلة في ألياف العصب السمعي مع اختلاف طفيف في منحنيات الخلايا المتوضعة مركزيا في النواة كما يشاهد اختلاف طفيف في منحنيات تنغيم خلايا القشر السمعي أما التبدل الأهم والأكبر فيلاحظ في منحنيات تنغيم المركب الزيتوني العلوي وأيضا في الأكيمة السفلية والجسم الركبي الأنسي.
- تكون منحنيات تنغيم الأكيمة السفلية أكثر حدة عادة.
- ينجم هذا الاختلاف في منحنيات التنغيم عن تفاوت درجات التشابك والتوزع بين الألياف المختلفة وتأثير المسارات التثبيطية والتحريضية المتعددة.



Auditory nerve tuning curves

Inferior colliculus tuning curves



وظيفة النواة الحلزونية Cochlear Nucleus

- **الوظيفة الرئيسة:**

تعزيز خصائص معينة في الإشارة السمعية، كالانتقائية التواترية وترميز التواتر والقفل الزمني.

- **التوزع Divergence:**

وهو مصطلح يدل على إرسال الإشارة من ليف عصبي إلى مجموعة من الألياف الأخرى

- **التجمع Convergence:**

وهو مصطلح يدل على تلقي ليف عصبي واحد الإشارة من مجموعة متعددة من الألياف العصبية الأخرى وعادة يكون هذا الليف متخصصا بوظيفة معينة.

وظيفة النواة الحلزونية البطنية الأمامية AVCN

- تعتبر هذه النواة مدخل سبيل السمع بالأذنين "Binaural Pathway" وبالتالي فلها دور هام في وظيفة السمع الفضائي spatial localization.
- تتلقى هذه النواة ألیافا متجمعة Convergence من كلا العصبين السمعيين الأيسر والأيمن.
- هناك علاقة تقابلية One-to-one بين الخلايا المشعرة وألياف العصب السمعي وصولا إلى ألياف النواة الحلزونية البطينة الأمامية وهي بذلك تشكل الخطوة الأولى لحفظ الطبوغرافيا الطيفية Tonotopic Organization.
- كما تعتبر النواة الحلزونية البطينة الأمامية محطة توصيل بسيطة Relay station تساهم في نقل المعلومات إلى المراكز العليا بدون تعديلات هامة.
- تساهم هذه النواة في حفظ منحنيات التنغيم الحادة وخصائص قفل الطور للعصب السمعي.

Phase-locking in the cochlear nucleus

A Auditory nerve

0 10 20 30

B Bushy cell

0 10 20 30

TIME (ms)

The secure and large end bulb endings enable excitatory neurotransmitter to be released quickly and synchronously to the postsynaptic receptors so that the precise temporal information carried in the auditory nerve fibers is faithfully preserved in the bushy cells.

The Bushy Cells receptors are abnormally rapid with low threshold potassium conductances and low input impedances so that their membrane time constant is very short, making them especially **fast acting.**

وظيفة النواة الحلزونية الظهرية DCN

- الوظيفة الأساسية للنواة الحلزونية الخلفية انها تشكل المحطة الأولى للسبل المقابلة للمعالجة وحيدة الجانب

Monaural contralateral pathways

- تحمل هذه السبل المعلومات من الأذن المقابلة حصرا دون تصالب.
- هناك بعض النظريات التي تفترض وجود ارتباطات خارج سمعية بين النواة الحلزونية الظهرية والحس الجسمي لعضلات الرقبة Somatosensory وهذا يفسر بعض الارتكاسات العضلية لسماع الأصوات الشديدة وتعتبر أيضا أحد النظريات القوية في تفسير تشكل الطنين الحسي عند بعض مرضة الطنين Somatosensory tinnitus.

وظيفة المركب الزيتوني العلوي SOC

- يقع المركب الزيتوني في المنطقة الذيلية من الجسر إلى الأعلى والأنسي من النواة الحلزونية وهو يتلقى معلومات من كلا السبيلين الموافق Ipsilateral والمقابل Contralateral وبالتالي يعتبر المحطة الأولى للمعالجة بين الأذنين وتحديد مكان الصوت وجهته.

- The SOC is involved in:
  - Localization.
  - Lateralization.
  - Binaural integration.
- Significant implications for:
  - Binaural hearing in general.
  - Aid in speech-in-noise skills.

وظيفة الفتيل الوحشي LL

- يمثل الفتيل الوحشي السبيل الأساسي للطرق الصاعدة Ascending pathways.
- يسهم في نقل المعلومات الصاعدة والهابطة ويقع في الجسر حيث يمتد من المركب الزيتوني العلوي وبشكل موازي وحشي وصولا إلى الأكيمة السفلية الموافقة.
- يتلقى الفتيل الوحشي معلومات من الطرفين الموافق والمقابل.
- يسهم في التمثيل ثنائي الجانب للمنبه السمعي Bilateral representation.
- تبدأ فيه المراحل الأولى من استخلاص المعلومات وتعزيزها Feature extraction & Enhancement.
- له دور في الدقة الزمنية Temporal resolution
- له دور في تشكل منعكس الجفل السمعي Acoustic startle reflex.

وظيفة الأكيمة السفلية IC

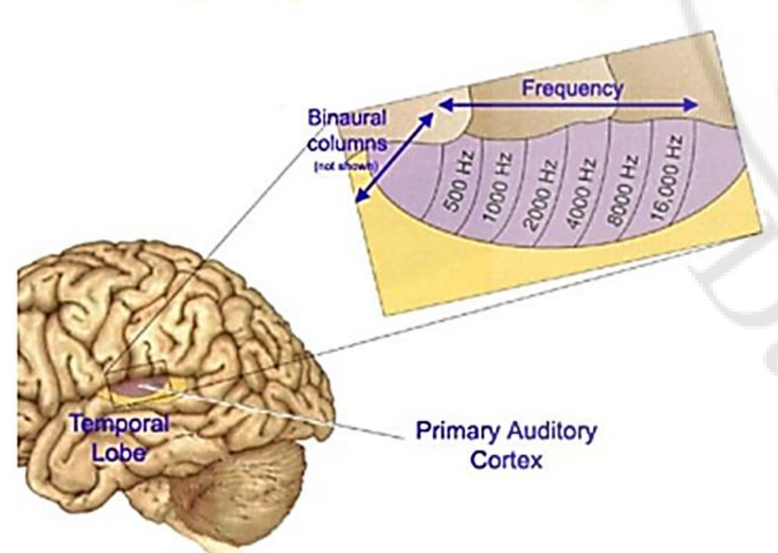
- تستجيب الأكيمة السفلية (التي تقع في أعلى الجسر) لاختلاف الزمن والشدة بين الأذنين وبالتالي فهي مركز تكاملي لتحديد مكان الصوت والمعالجة بين الأذنين Integrative station of localization and binaural process.
- هي محطة لتلقي الإشارات الحسية متعددة النمط (سمعية وغير سمعية) Multimodal sensory perception.
- تلعب دور هام في تعزيز التبدل بالشدة والتواتر للإشارة السمعية وبالتالي لها دور هام في ترميز إشارة الكلامية Speech encoding.
- لها دور في منعكس الجفل والمنعكس العيني Ocular reflex.
- من شأنها أن تقوم بتعديل نشاط بعض المناطق الدماغية المسؤولة عن الانتباه attention والتعلم Learning.
- هناك نوعين من السبل الصادرة من الأكيمة السفلية:

- The primary pathway:
  - Originates in the **central** nucleus of the IC.
  - Characterized by **sharp tuning and tonotopic** organization.

- The diffuse pathway:
  - Originates in the **pericentral** nucleus
  - **Broader** frequency tuning and **little or no tonotopicity**.

وظيفة الجسم الركبي الأنسي MGB

- يقع في الدماغ البيني (أسفل المهاد Thalamus) وهو عبارة عن مجموعة من البنى والنويات المتعددة التي تختلف في بنيتها عن القشرة الدماغية والتي تعتبر المحطة الأساسية لإيصال المعلومات الحسية إلى القشر.
- تتوزع من المهاد حزمتين من السبل الصاعدة التي تسمى التشعع السمعي Auditory radiation وهو يمثل السبل الصاعدة إلى القشر المخي السمعي حيث تتوضع الخريطة الطبوغرافية التواترية.
- يعتبر الجسم الركبي الأنسي منطقة هامة للتكامل الحسي Multimodal sensory integration.
- يساهم في ترميز الإشارات المركبة Complex stimuli and speech وذلك من خلال توظيف العديد من العصبونات المتآزرة والتي تعمل كوحدة واحدة متناسقة تقوم بمعالجة المعلومات بشكل فوري وتعتمد على المعلومات الواصلة للتو Preceding وتتلقى بيناتها من مجموعات مختلفة من العصبونات الأخرى.



Thalamus (Function)

- **Relay of sensorimotor information to cortex** and some speech/language and auditory functions.
  - The primary station for info between the brainstem and the cortex.
- Relative **intensity** comparison.
- Relative **duration** comparison.
- Contrast and amplitude **modulation enhancement.**
- **Extraction of features.**
- **Encoding of binaural** and **complex** signal processing.
- Binaural responders cells→ **Binaural processing** → **ipsilateral cortex**.

ترميز الأصوات المركبة

- الأصوات الطبيعية عادة هي أصوات ذات طيف واسع وتتسم بالتبديل السريع أو الأقل سرعة بالتواتر والسعة عبر الزمن.
- هذا التبدل في التواتر والسعة بحمل معلومات هامة كإشارة الكلام مثلا والذي يتم ترميزه في محطات السبل السمعية الصادرة حيث يتم تعزيز التبدلات الغنية بالمعلومات وتثبيط الأصوات غير الغنية بالمحتوى أو المعلومة (كالضجيج).
- الصوت الثابت كالنغمة الصافية يكاد يكون خاليا من المعلومات بعد تشغيله باستثناء مدة المنبه فقط.
- الكثير من عصبونات السبيل السمعي لا تستجيب إلا لبدء وختم المنبه وكأنها تلعب كفلتر للمعلومات الواردة.
- إن معدل وشكل الاطلاق discharge pattern للخلية العصبية استجابة للتبدل بالشدة مثلا زيادة ونقصا هو الوسيلة لترميز هذه المعلومات التي تحملها الاشارة الواردة.

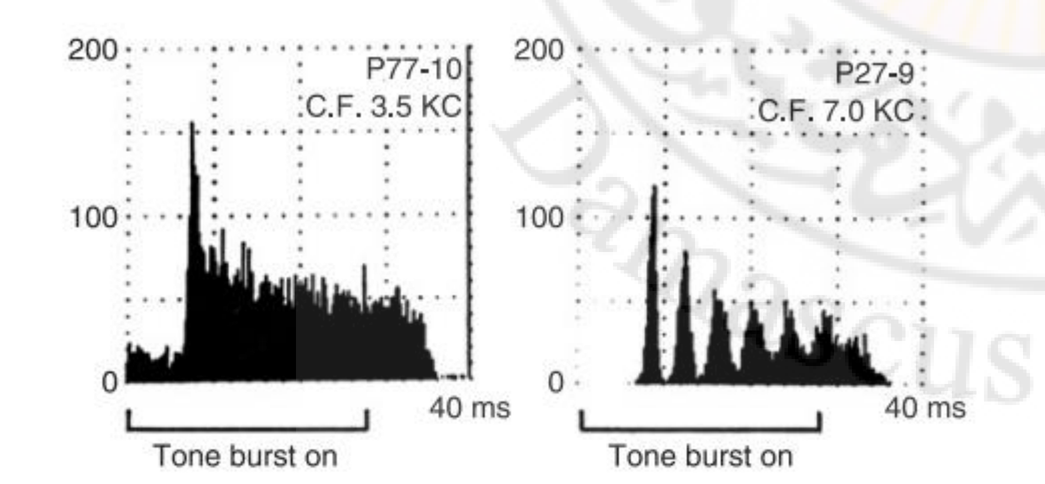


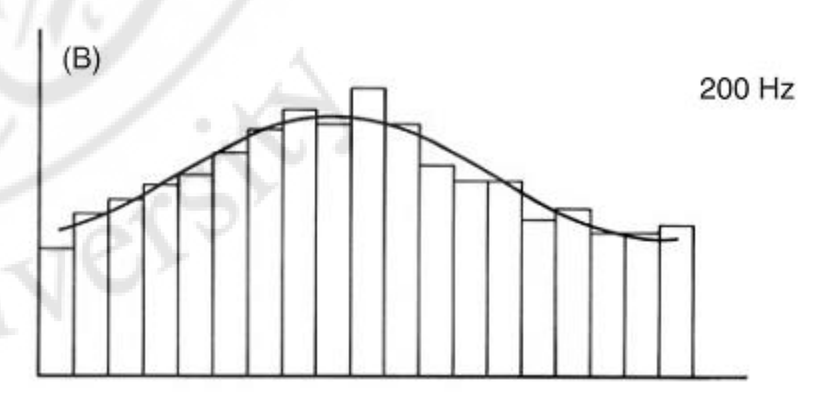
FIGURE 6.23 Period histogram of the response from a cell in the cochlear nucleus of a rat to tones the intensity of which was changed up and down in a stepwise fashion. The dots show calculated response obtained from the response to a tone that was amplitude modulated by pseudorandom noise (reprinted from Møller, 1979, with permission from John Wiley).

Coding of Complex Sounds

- يمتلك الجهاز العصبي السمعي القدرة على ضغط شدة الأصوات الواردة إليه وبالتالي فإن ضغط الشدة هذا compression أو مايسمى بالتحكم الذاتي للتضخيم Automatic gain control هو الذي يعزز الاستجابة لتبدلات صغيرة في شدة الصوت.

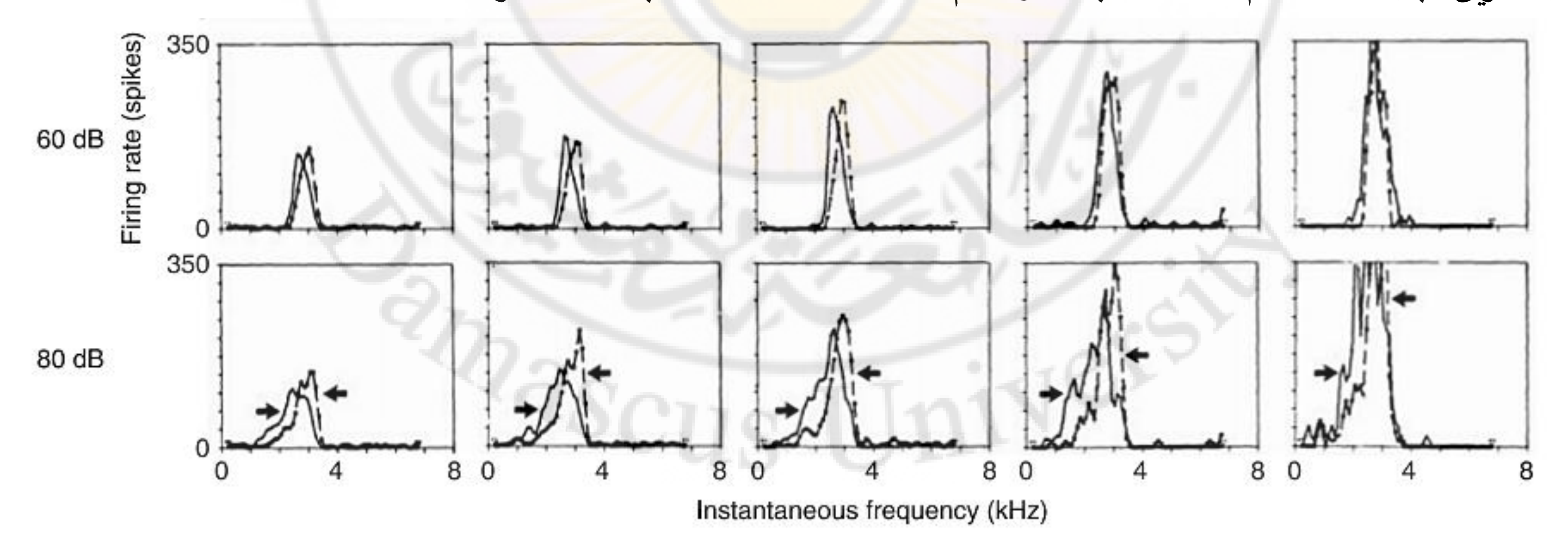
- Neurons in the CN reproduce the (sinusoidal) modulation waveform of AM tones and noises faithfully in their discharge pattern over a large range of modulation frequencies.





Coding of Complex Sounds

- عندما يحدث تبدل في التواتر فإن شكل الهيستوغرام الناجم عن الاستجابة العصبية سيتبدل قليلا بشكل يتوافق مع هذا التبدل في التواتر.
- إن حدة منحنيات التنغيم التواترية هو أحد أهم خصائص ألياف العصب السمعي والسبيل المركزي التي تمكنها من إدراك التبدل في التواتر.
- هناك الياف خاصة في الأكيمة السفلية تقوم بالاستجابة لبدء المنبه الصوتي فقط وألياف أخرى تستجيب لطول مدة المنبه الصوتي وغن التآزر بين هذه العبوانت المختلفة هو الذي يجعل بالمقدور إدراك الأصوات المركبة المختلفة وترميزها من خلال اختلافات التواتر والشدة عبر الزمن.
- إن التثبيط أو عدم الاستجابة للمنبهات المستمرة هو بحد ذاته آلية لتعزيز الاستجابة للتبدلات التي تعتبر الأغنى من حيث المعلومات ويلعب التثبيط بالطريق الهابط احد أهم الآليات لتثبيط أو عدم تسجيل الاستجابة للمنبهات المستمرة.





أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 9

Physiology of Hearing

(Physiology of the Auditory Nervous System)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

June 2023

السمع الاتجاهي DIRECTIONAL HEARING

- يعتبر السمع الاتجاهي أي تحديد مصدر الصوت في المستوى الأفقي أحد أهم خصائص السمع بالأذنين وهو خاصية تحتاج العديد من الكائنات لتضمن بقاءها.

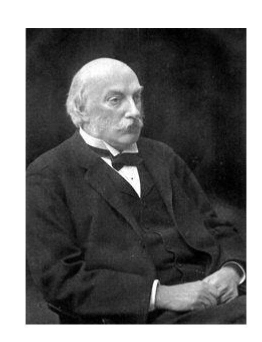
- يتم تحديد مكان الصوت بالاعتماد على مشعري فرق الزمن وفرق الشدة بين الأذنين :

(interaural time difference [ITD]) , (interaural level differences [ILD]).

- يتم تحديد مكان وجهة الأصوات منخفضة التواتر اعتمادا على فرق زمن وصولها للأذنين في حين أن الأصوات مرتفعة التواتر يتم تحديد مكانها من خلال فرق شدة الصوت الواصلة لكلا الأذنين والخلاصة أن كلا المشعرين يتم استخدامهما في الفزيولوجيا السمعية ليتم تحديد مكان الصوت.

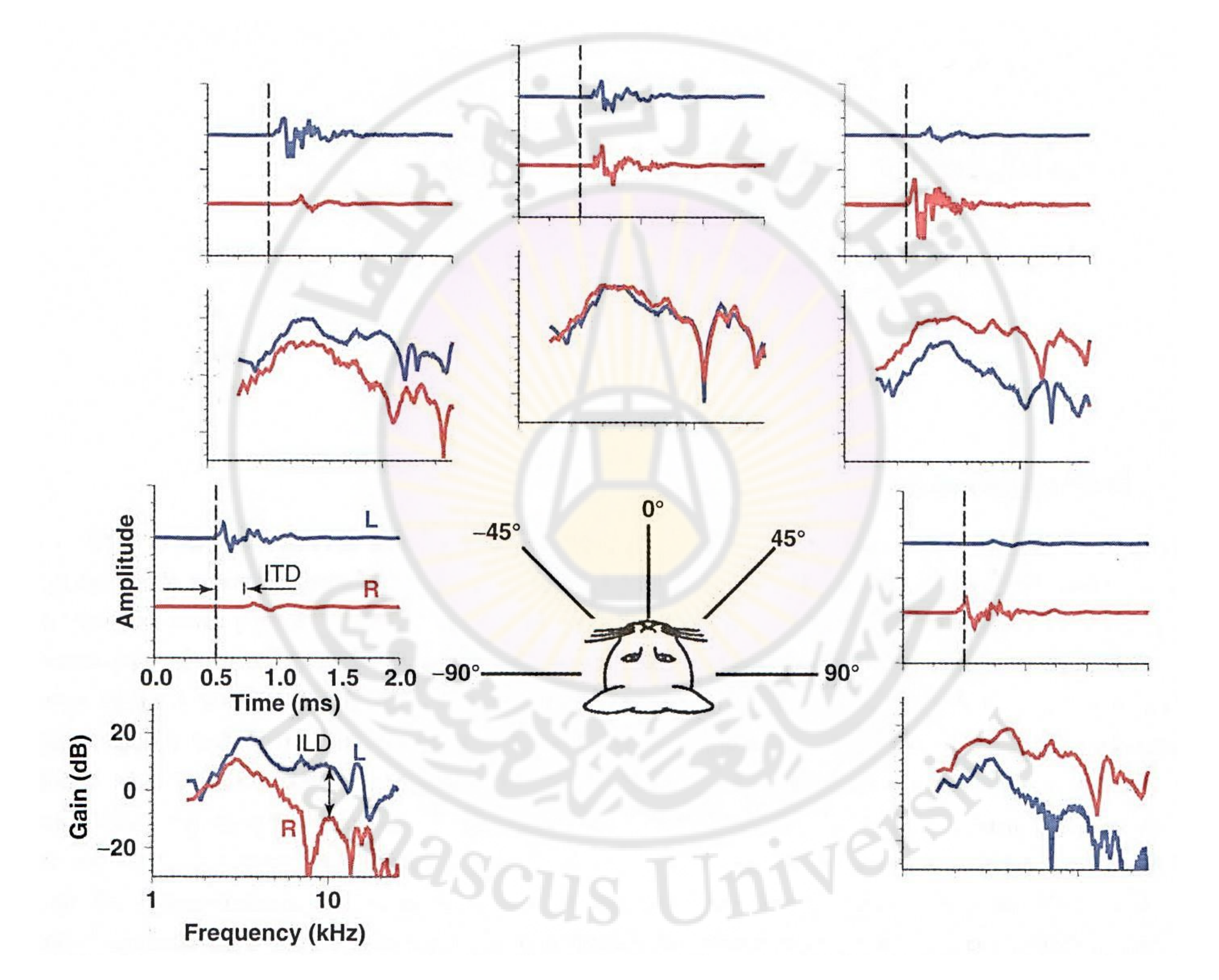
- أحد التطبيقات الأخرى للسمع الاتجاهي هي تمييز الكلام بالضجيج وإدراك الفضاء او مايسمى السمع الفضائي Spatial Hearing والذي يعتبر هاما جدا في بعض ظروف الاستماع كالموسيقا والحفلات وغيرها.

Duplex Theory (Lord Rayleigh, 1907)



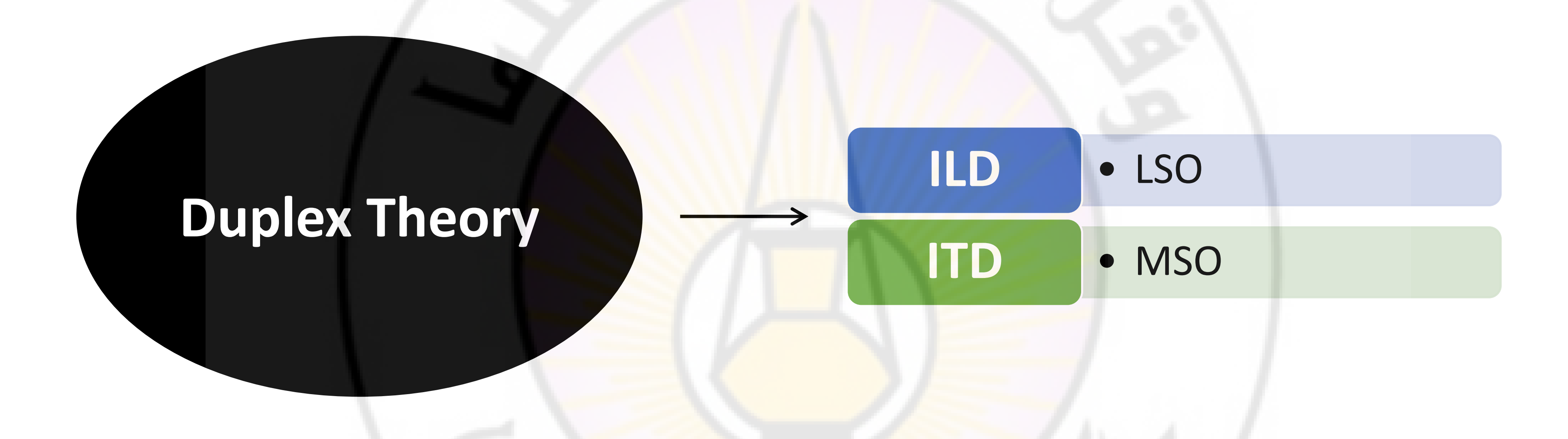
- **ITDs** are used to determine the lateral locations of low-frequency tones, whereas **ILDs** provide the primary cue at higher frequencies.

- تصل حساسية تحديد مكان الصوت في الأذن البشرية لدرجة أنها تستطيع ان تدرك تبدل في زاوية منبع الصوت يصل لانحراف 1° عن الخط الناصف في المستوى الأفقي
- تعتبر هذه منطقة الحساسية أو الدقة الاتجاهية العظمى في السمع الفضائي حيث تصل حساسية ال ITD لمقدار تباين تواتر بحدود 10 إلى 15 ميكروثانية وتصل حساسية ال ILD لتباين شدة بحدود 0.5 إلى 0.8 ديسبل وتختلف هذه الأرقام حسب تواتر المنبه.



Amplitude
L
ITD
R
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
Time (ms)
Gain (dB)
20
0
–20
ILD
L
R
1
10
Frequency (kHz)
0°
–45°
45°
–90°
90°

The Binaural System:
the Basis for Sound Localization in the Horizontal Plane

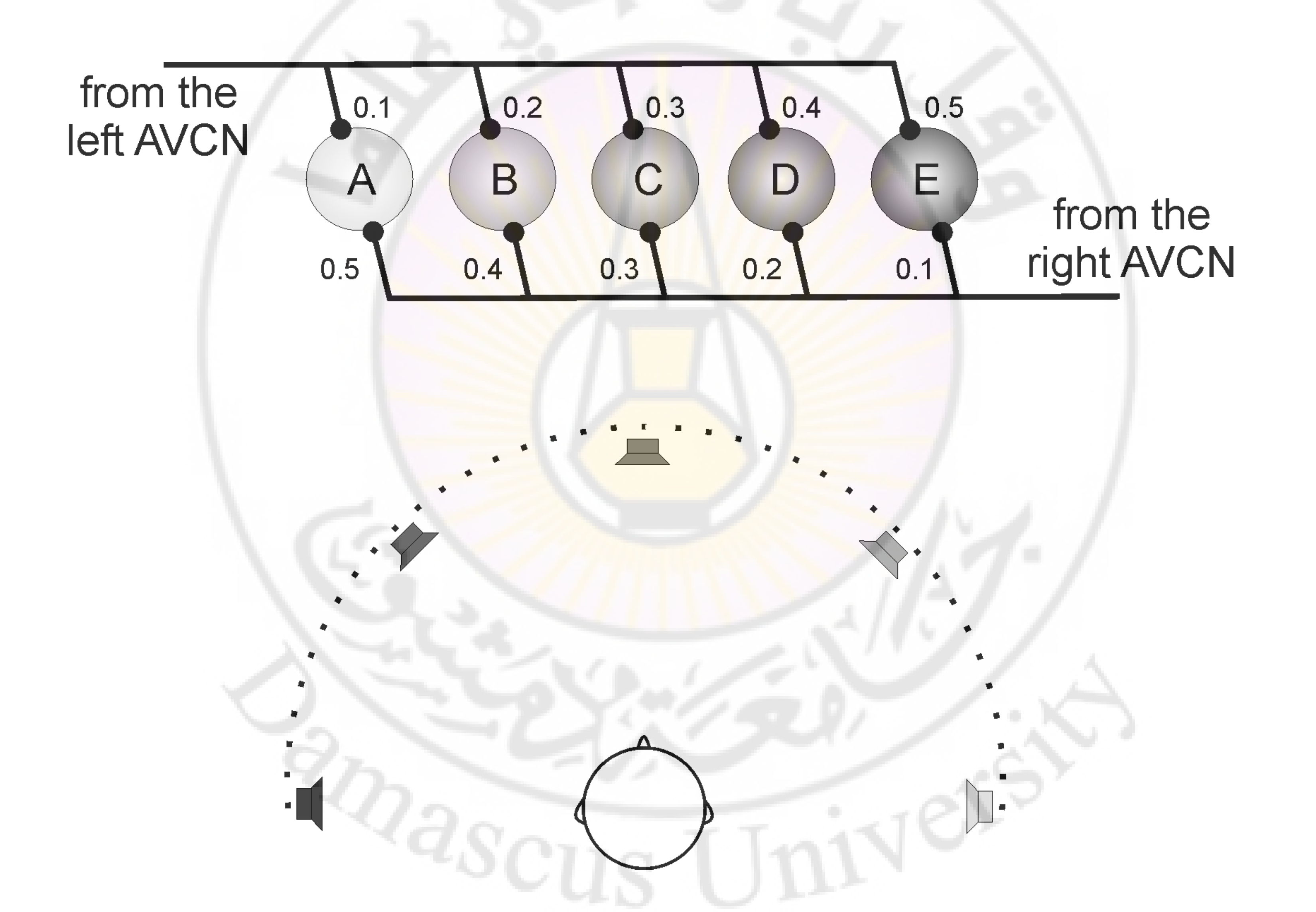


- significant ILDs can occur for low-frequency sounds located in the near field.
- Second, extensive psychophysical evidence indicates that sensitivity to ITDs is conveyed by the envelopes of high-frequency complex sounds

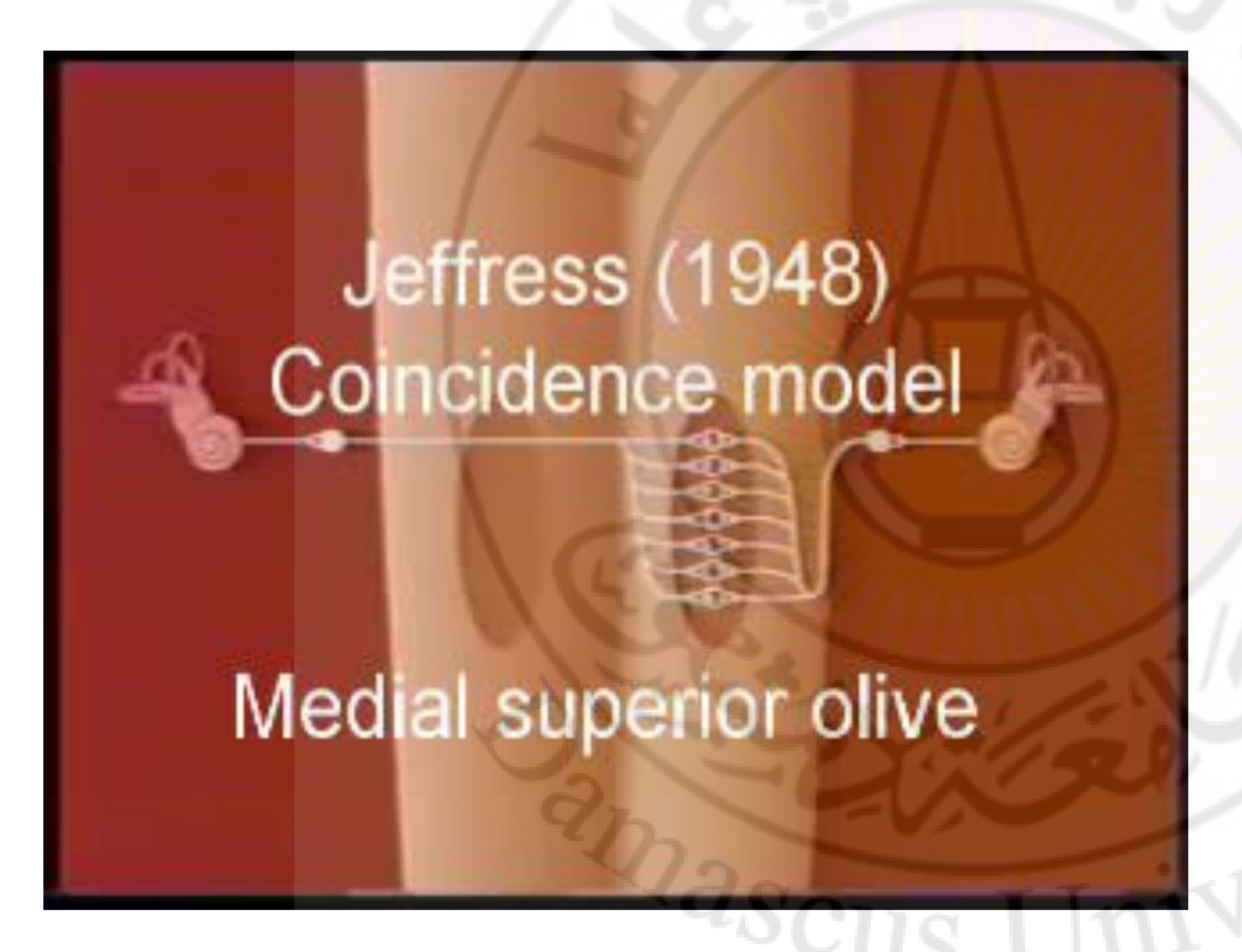
الأساس الفزيولوجي العصبي للسمع الاتجاهي

- تعتبر النورونات التي تتلقى التنبيهات من كلا الأذنين الوحدة الأساسية في إدراك الفرق بين الأذنين. يوجد هذا النمط من العصبونات في محطات مختلفة من السبيل السمعي اعتبارا من المركب الزيتوني وصولا إلى المهاد، كما أسلفنا.
- يعتبر المركب الزيتوني بكلا محطتيه النواة الأنسية MSO والنواة الوحشية LSO المحطة الأساسية الأولى للمعالجة بين الأذنين. لقد قام جفرس Jeffress 1948 بوضع نموذج افتراضي يوضح آلية السمع الاتجاهي من خلال مثنويات التفعيل وفرق الوصول من كلا الأذنين إلى محطات المعالجة.
- Jeffress's model consists of an array of neurons that receive input from both ears. These neurons only fire when the inputs from the two ears arrive at the same time. If the axons that lead to these neurons had the same length the neurons would fire only for sound arriving at the ears at the same time, thus sounds that came from a source that was located directly in front of the observer or directly behind. The delay in the axons that lead input to these **coincidence neurons** is different for different neurons. The difference in the neural delays to the two inputs makes a neuron fire when sounds arrive at the two ears with that delay. If, e.g., the input to such a coincidence neuron from the left ear is delayed 50 μS relative to the right ear, the two inputs will coincide when sounds arrive 50 μS earlier at the left ear than at the right ear. This occurs when a sound source is located approximately 9° to the left of the midline (90° corresponds to 650 μS.

The Jeffress model: mapping ITDs in the brain?

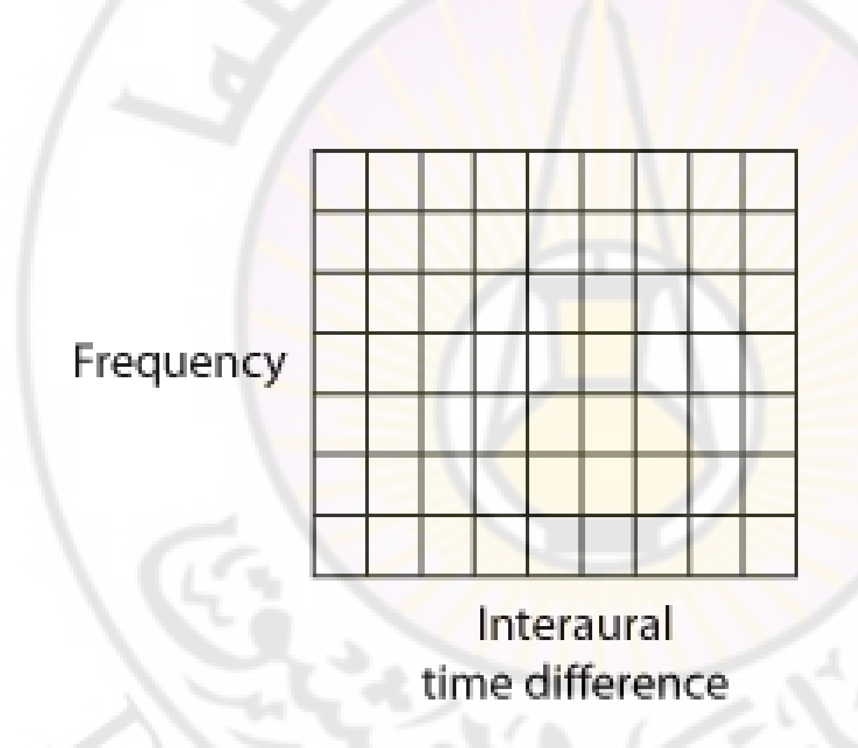


Jeffress (1948)



- لقد طرأت عدة تعطيلات لاحقة على نموذج جيفرس ولكن مع الحفاظ على المفهوم الأساسي له. والذي هو وجود عصبونات مخصصة موجودة في النواة الزيتونية الأنسية MSO تسمى عصبونات التوافق Co-incidence neurons والتي من خلال تفعيلها بناء على تأخير معين في الوصول بين الأذنين يتم تحديد مكان الصوت. وبعدها هذه المعلومات التي تم ترميزها في هذه العصبونات تحفظ وترسل للمعالجة في المستويات العصبية الأعلى. حيث يتم معالجة الأصوات الواردة من كلا الأذنين في العديد من المناطق الدماغية ويلعب الجسم الثفني Corpus Callosum دورا هاما في هذا النشاط.

The output representation of the Jeffress network



The output of the network is a **spatial map** of running coincidence rates, arranged by frequency channel (cochleotopic projection) and interaural delay.

Neurophysiologic Basis for Sound Localization

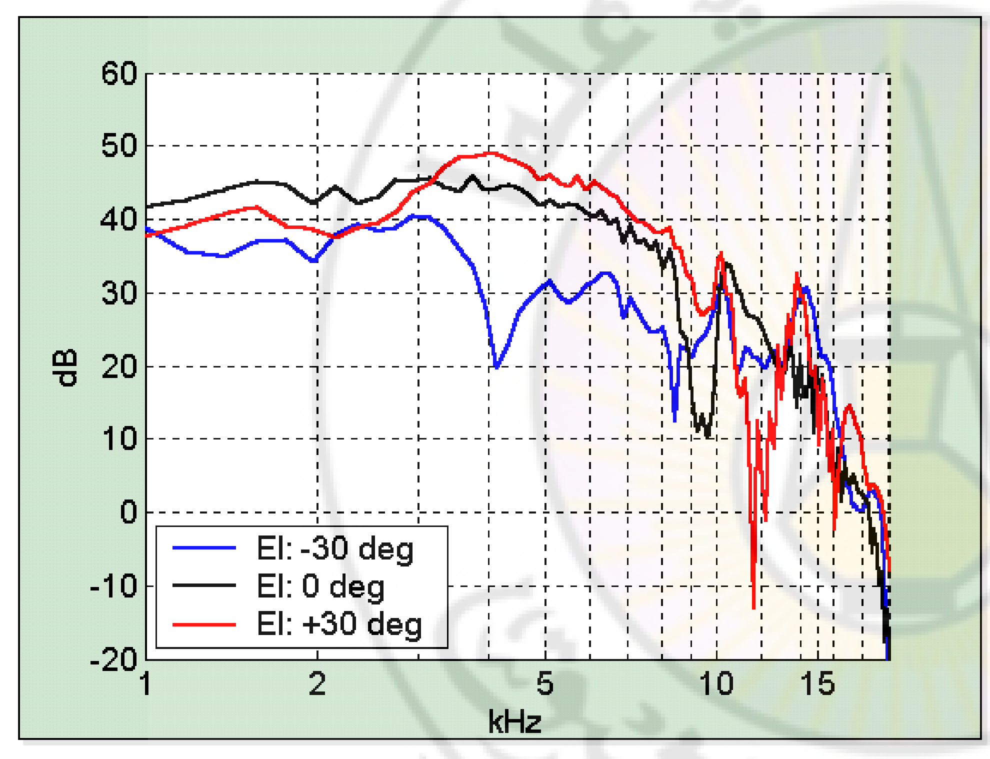
- إن نموذج جيفرس يساعد بتفسير إدراك جهة الصوت اعتمادا على خصائص فرق زمن الوصول بين الأذنين ولكن يبقى إدراك فرق الشدة بين الأذنين هو أمر اكثر تعقيدا وأقل وضوحا وخصوصا أن شدة الصوت تتعلق بتواتره مما يزيد الأمر صعوبة .
- النموذج الذي يفترض وجود مثنويات من العصبونات التي تتلقى تنبيها من جهة وتثبيطا من الجهة المقابلة excitatory- inhibitory neurons (EI) يوكل إلى هذه العصبونات مهمة إدراك فرق الشدة بين الأذنين وتتوضع معظم هذه العصبونات في النواة الزيتونية الوحشية LSO والنواة الظهرية للفتيل الوحشي DNLL والاكيمة السفلية IC.
- حاول جيفرس الاستفادة من نموذجه في تفسير ترميز اختلاف الشدة بين الأذنين اعتمادا على فرق زمن الكمون بين الأصوات المتباينة بالشدة حيث ان الأصوات الأعلى شدة هي ذات زمن كمون أقل وبالتالي يمكن تطبيق نفس النموذج لكلا معياري فرق الزمن وفرق الشدة بين الأذنين حسب فرضية جيفرس هذه.
- هناك بعض المفاتيح التي تساعد في تحديد جهة الصوت في حالة السمع بأذن واحدة كالصمم أحادي الجانب حيث تعتمد هذه المفاتيح على معالجة المعلومات الواردة من النواة الحلزونية الظهرية DCN (المختصة بالمعالجة وحيدة الأذن) بالاضافة للمعلومات الآتية من المستقبلات الحسية للضغط PROPIOCEPTIVE RECEPTROS والتي تتفعل عند تحريك الرأس باتجاه الصوت وبالتالي يتم تحديد جهة الصوت بشكل تقريبي.

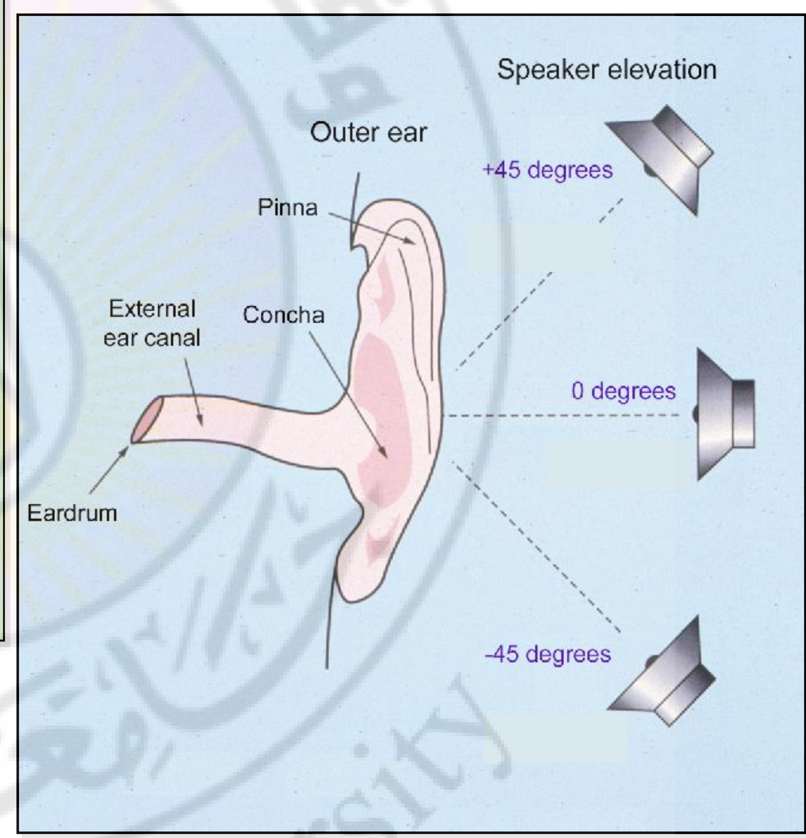
Localization in the Vertical Plane

- تتمكن العديد من الكائنات من تحديد مكان الصوت على المحور العمودي أيضا ولكننا لانعرف الكثير عن آلية هذه الوظيفة حيث لايمكن تفسيرها بنفس آليات تحديد جهة الصوت بالمستوى الأفقي لأنه لايوجد فرق بالوصول والشدة على المستوى العمودي إذ ان أذني الإنسان وسائر المخلوقات تقريبا تتوضع بشكل متناظر بالنسبة للمحور الشاقولي.

- Despite that, psychophysical experiments show that we can discriminate 4–6° in the vertical plane (elevation). The ability to localize the direction to a sound source in the vertical plane is assumed that it is based on changes in the spectrum of a sound as a function of the elevation of the sound source.

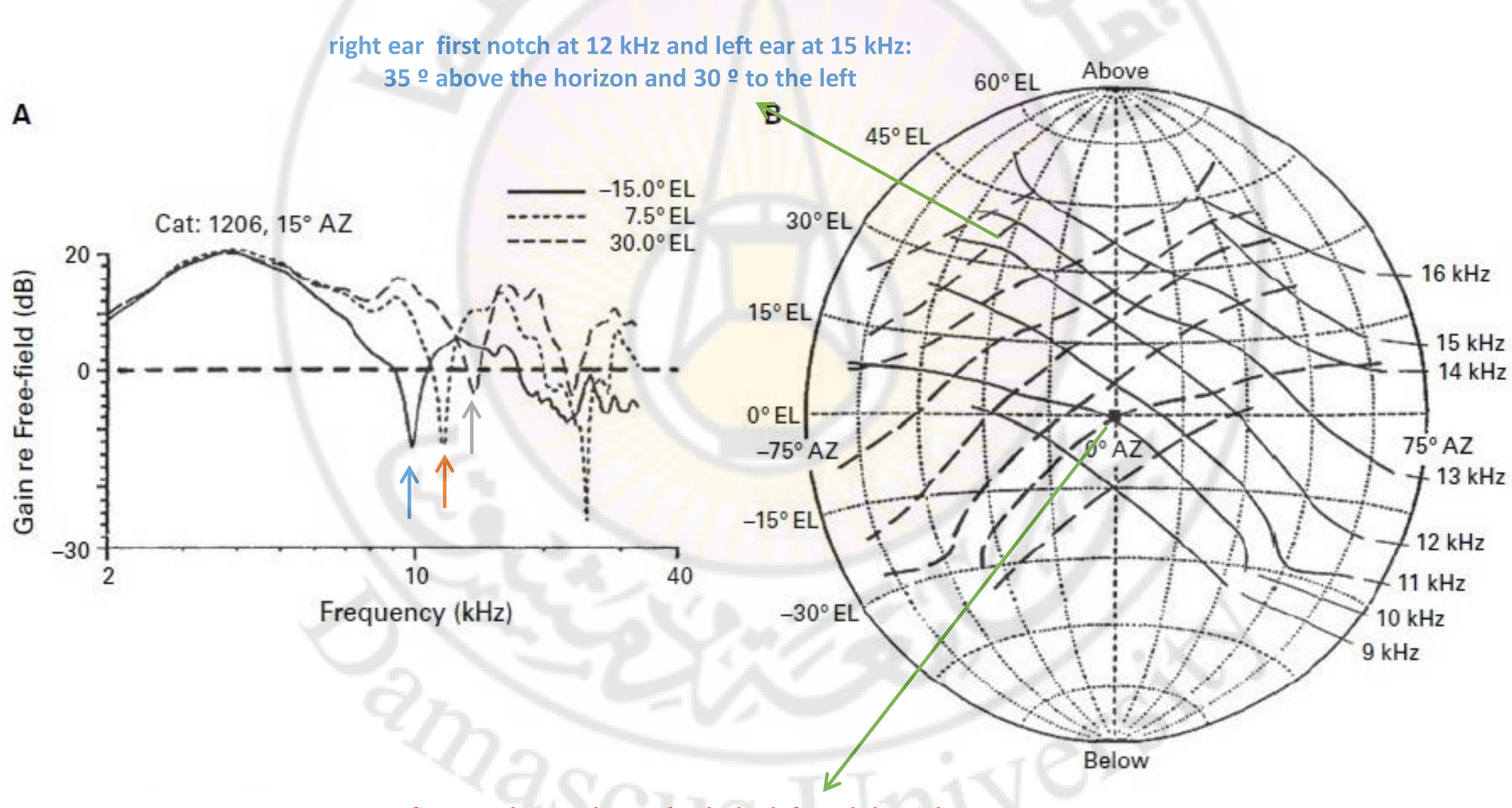
Spectral (Monaural) Cues

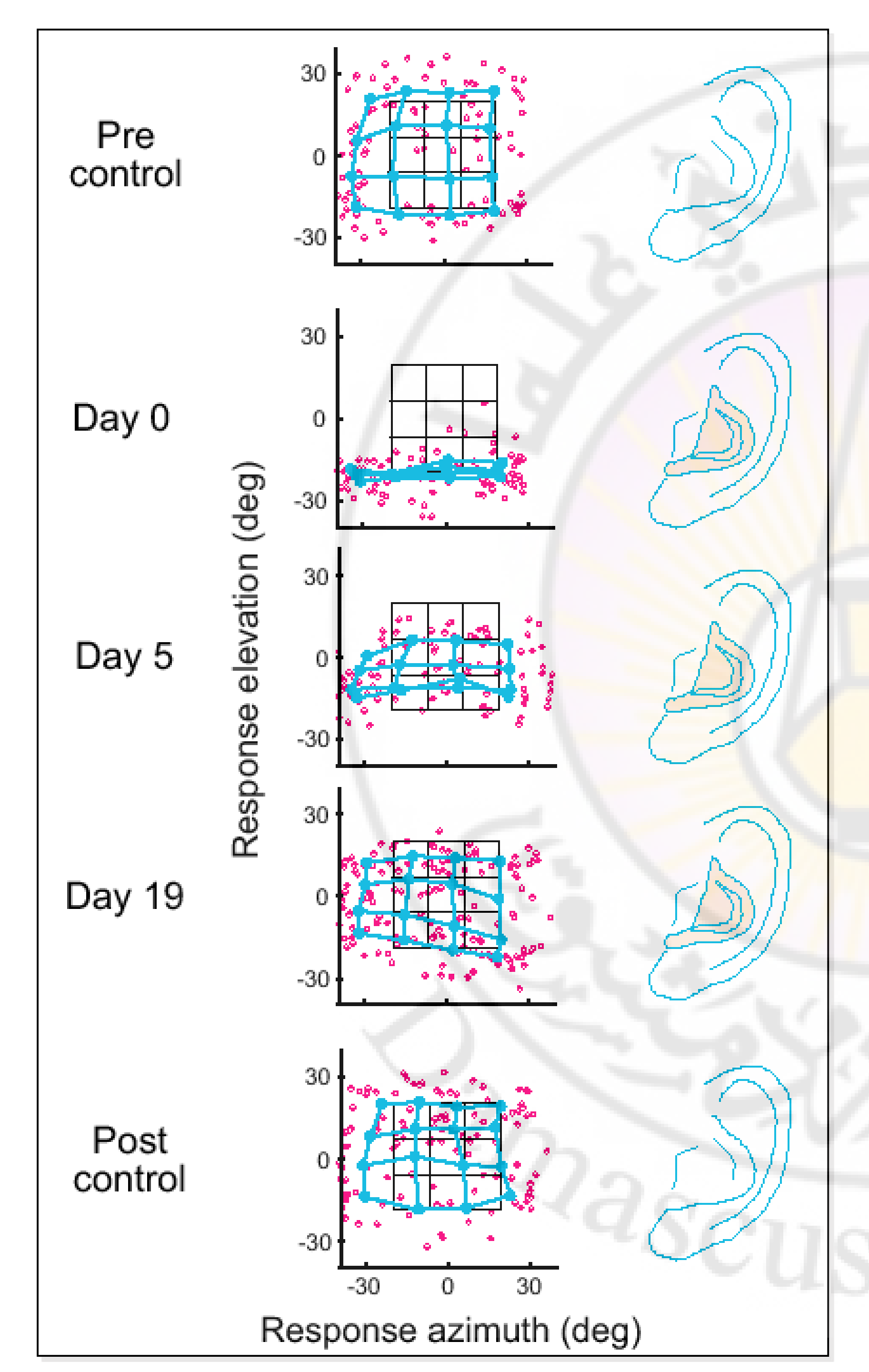




Neuronal Basis for Spectral Integration:

The Basis for Sound Localization in the Vertical Plane





Adapting to Changes in Spectral Cues

Hofman et al. made human volunteers localize sounds in the dark, then introduced plastic molds to change the shape of the concha. This disrupted spectral cues and led to poor localization, particularly in elevation.

Over a prolonged period of wearing the molds, (up to 3 weeks) localization accuracy improved.



أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 10

Physiology of Hearing

(Central Auditory Processing)

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University

June 2023

مقدمة – نحن نسمع بدماغنا!

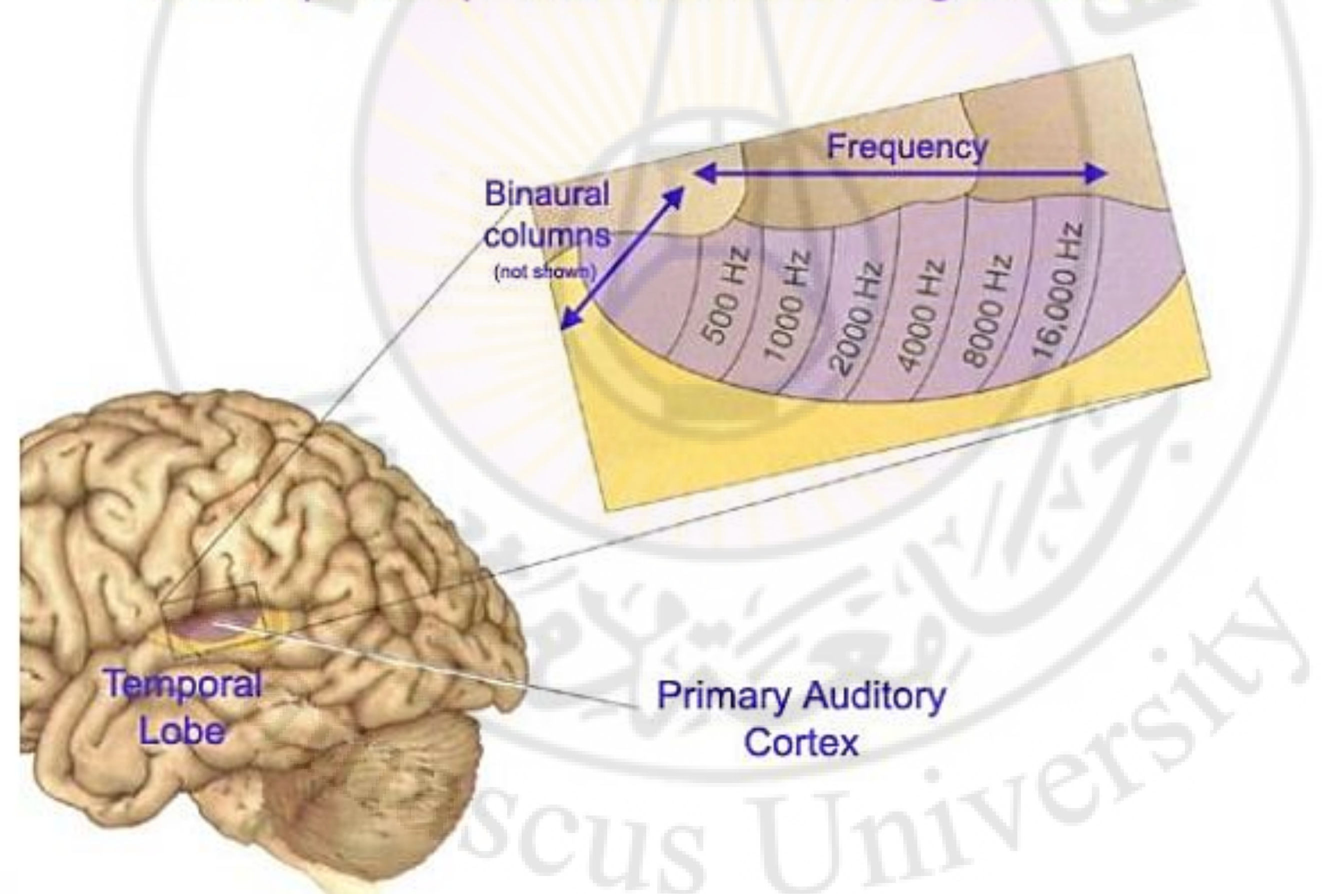
- هناك حقيقة علمية بدات تتكشف اخيرا لعلماء الأعصاب مفادها أننا نسمع بدماغنا.
- إن حاسة السمع مصحوبة بوظيفة اللغة تميزنا عن سائر المخلوقات بالمستوى المعرفي ومستوى الذكاء التي تؤمنه هذه الحاسة من وسيلة لحفظ النوع و الأمان عند سائر المخلوقات إلى وظيفة سمعية لغوية معرفية معقدة.
- تتميز حاسة السمع عن باقي الحواس كالبصر بالكثير من النقاط الهامة والتي تنجم عن مستوى التعقيد والدقة في المعالجة السمعية وربما يكون السمع الفضائي وتحديد مكان الصوت هو أهم هذه الفروقات. باللمس مثلا نتحسس الأشياء بشل مباشر. وبالبصر ينطبع خيال الجسم في الفضاء على الشبكية التي ترسل معلومات دقيقة لموقعه إلى المركز. أما بالنسبة للسمع فالأمر ليس نفسه وإنما يهتز الغشاء القاعدي لجميع الأصوات حسب التواتر والشدة وملايتم تحديد مطان الصوت إلا بمستوى أعلى من المعالجة الدقيقة من الطرفين تبدأ من جذع الدماغ وتتم في القشر السمعي.
- يمكن أن نتجاهل أي هدف بصري لايقع خياله ضمن اللطخة الصفراء في الشبكية ولكن سمعيا يتم ترميز كل الأصوات في المحيط حتى لو أدرنا رأسنا بعيدا عن الصوت ولايتم تثبيط أي مصدر للصوت إلا عندما يقرر الدماغ أن يشيح وجهه عنه حتى لو قرر الانصات للصوت البعيد وتجاهل القريب.
- إذا هل نسمع بدماغنا..؟؟

مقدمة – نحن نسمع بدماغنا!

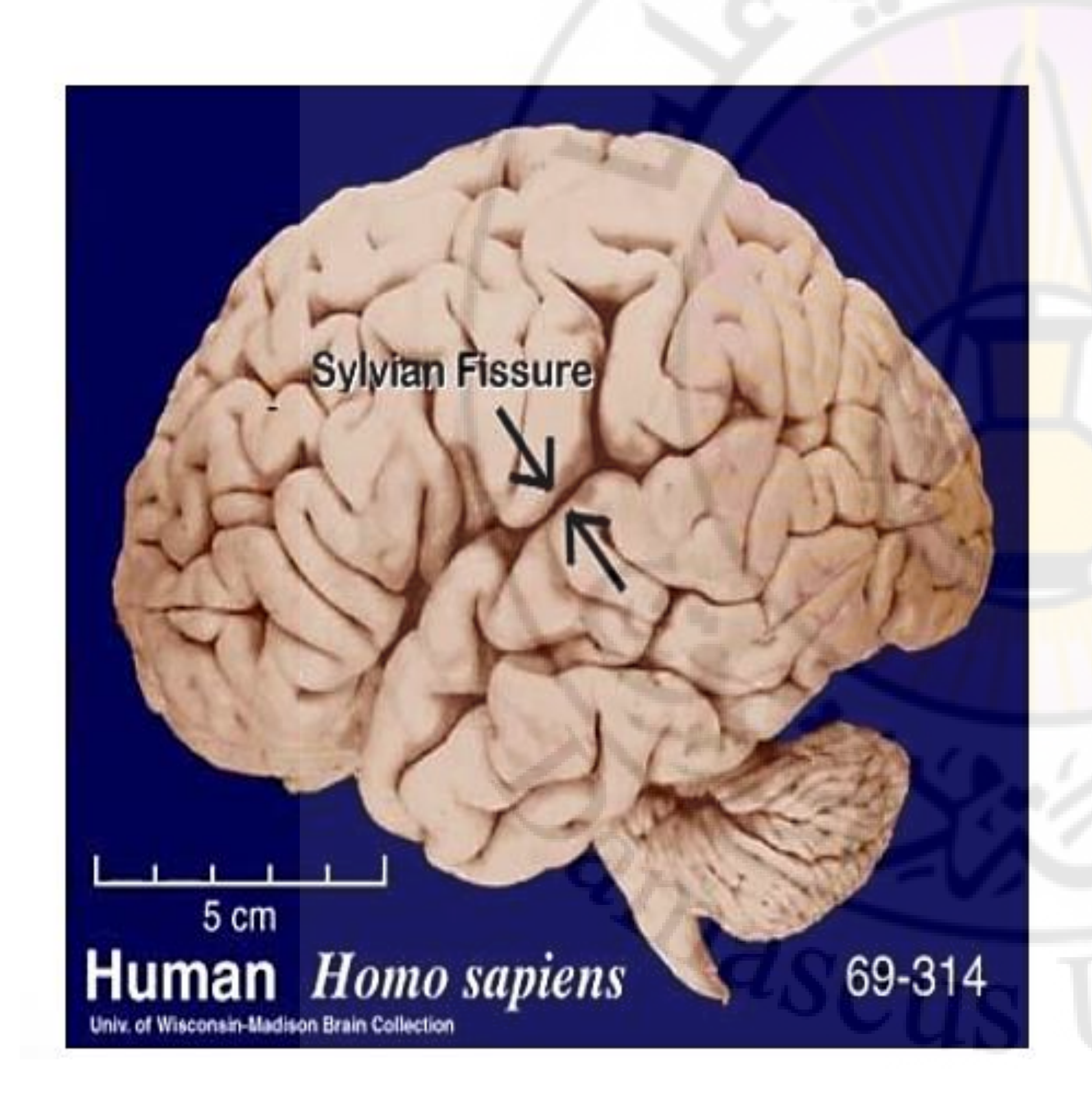
- في الحقيقة نحن نسمع بدماغنا وماوظيفة الأذن والسبيل السمعي المحيطي إلا إيصال المعلومات بدقة وأمانه وبمستوى بسيط من المعالجة إلى الدماغ لتتم المعالجة النهائية وتفسير الصوت هناك.
- وبالتالي فإن نقص السمع ماهو إلا مسألة دماغية يتم فيها حجب وصول الأصوات إلى الدماغ ولذلك فإن كل عقابيل نقص السمع تتعلق باضطراب المعالجة السمعية المركزية.
- لايمكن توقع حصر وظيفة السمع بنشاط مايقارب 16 ألف خلية مشعرة في الحلزون ولا 30 ألف ليف عصبي في العصب السمعي وإنما القضية تتعلق بنشاط مايقارب بليون عصبون في القشر السمعي تنجز مايقارب 100 تريليون وحدة معالجة مركزية في الثانية.
- إن الطبوغرافيا التواترية Tonotopic Organization التي يتم ترميزها في الحلزون وحفظها على طول السبل السمعية الصاعدة يتم تمثيلها في الحلزون وبدقة على طول شق هيشل حيث تتوزع التواترات من القسم الجانبي الوحشي للشق إلى الجزء الأنسي مرتبة من التواترات المنخفضة إلى التواترات المرتفعة.

Tonotopic distribution in the auditory cortex





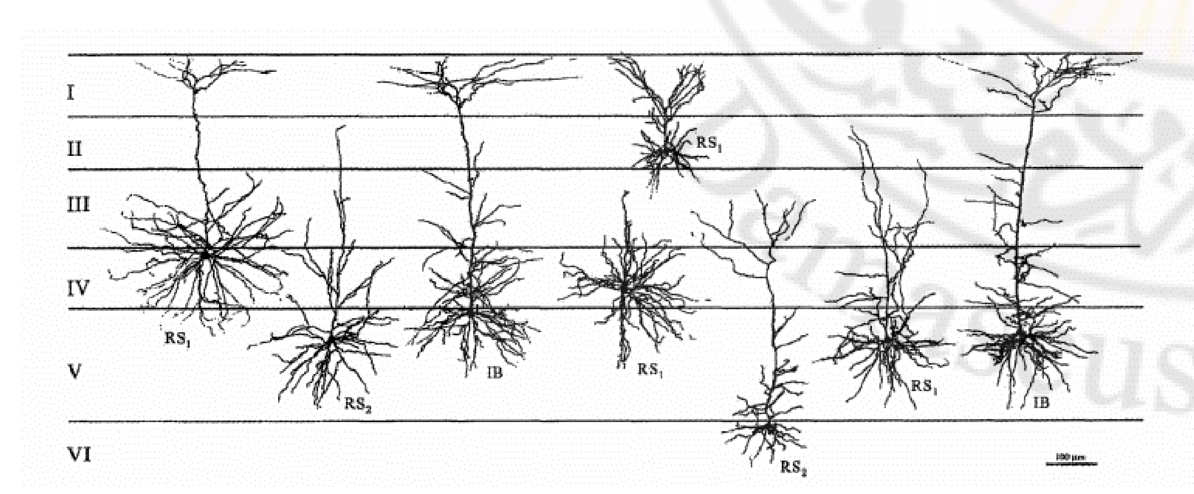
Auditory Cortex

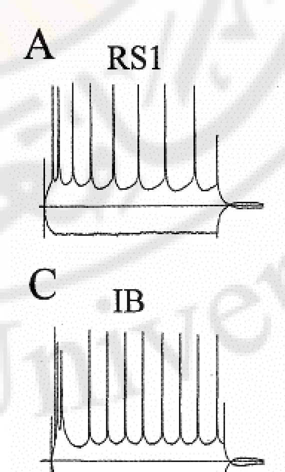


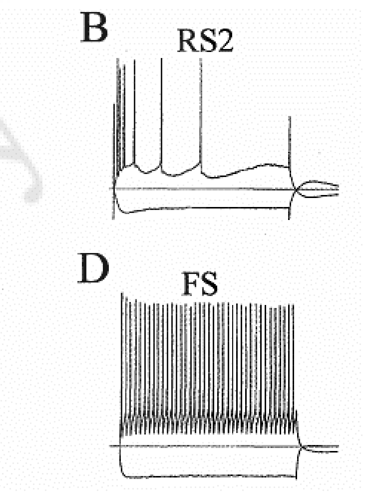
- Located in the Sylvian fissure of temporal bone

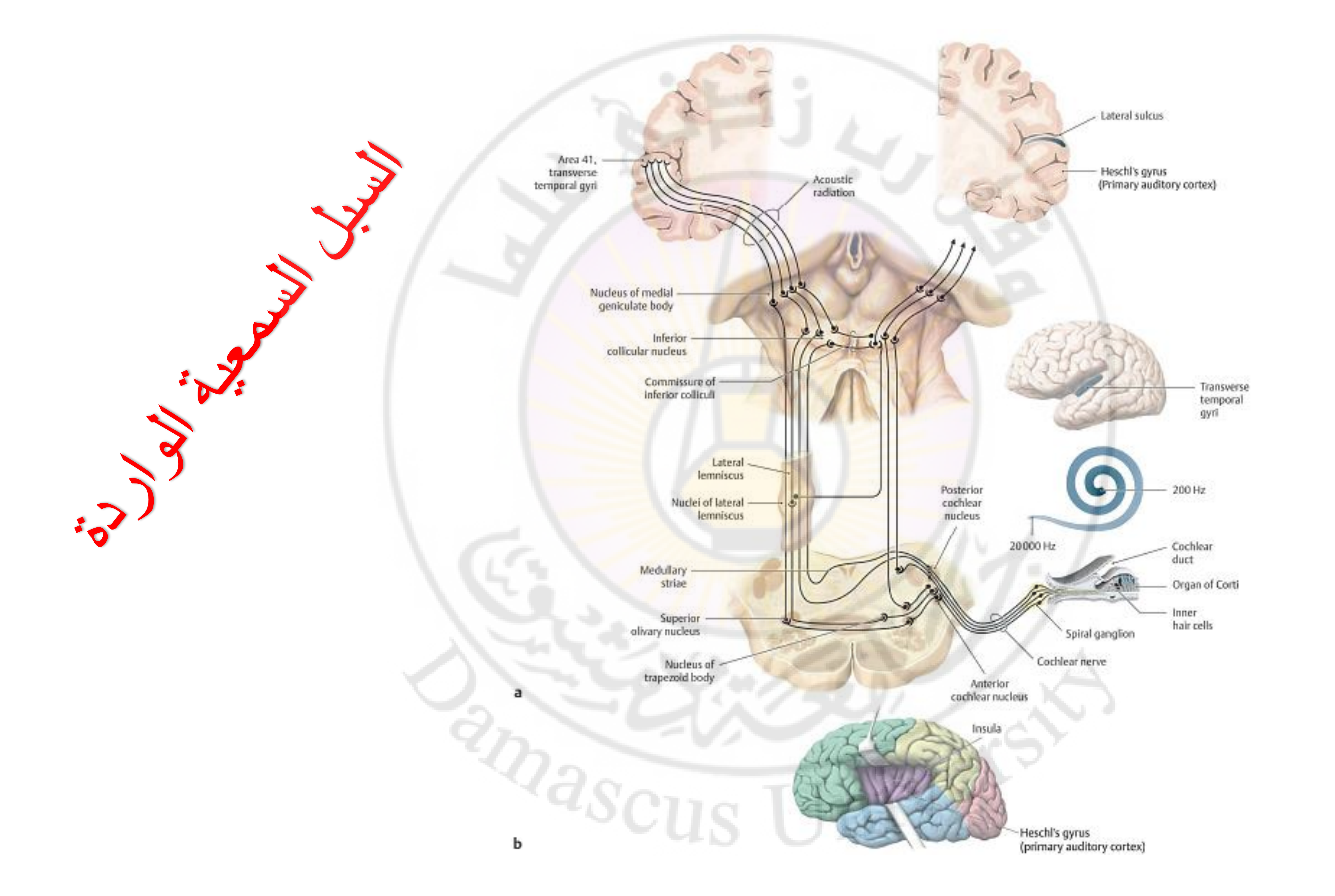
القشر السمعي

- تتوزع الخلايا في القشر السمعي على الطبقات الست وفق ترتيب يحقق المعالجة السريعة والدقيقة للمعلومات.
- حيث تكون الخلايا غزيرة في المنطقة المركزية من القشر والتي تسمى اللب أو A1– Core وذلك نسبتا للمناطق المحيطة الحزامية أو Belt & Para belt.
- تتوزع العصبونات الهرمية والخارج هرمية بشكل مركز في الطبقات العميقة حيث تكون الخلايا ضخمة وغنية بالنخاعين وهي خلايا تحفيزية تتفعل بالغلوتامات وأخرى تثبيطية تتفعل بالغاباايرجيك والتي تتمتد استطالاتها عبر كل الطبقات عموديا وأفقيا وتعتبر الأساس في سرعة المعالجة ولها عدة أنماط من الاستجابة حسب الضرورة من الاطلاق السريع إلى الاطلاق المنتظم وصولا إلى الاطلاق التكيفي كما يوضح الشكل التالي.
- في حين تتوزع العديد من العصبونات الارتباطية في المنطقة الحزمية التي تربط القشر السعي بالمناطق الدماغية المختلفة.

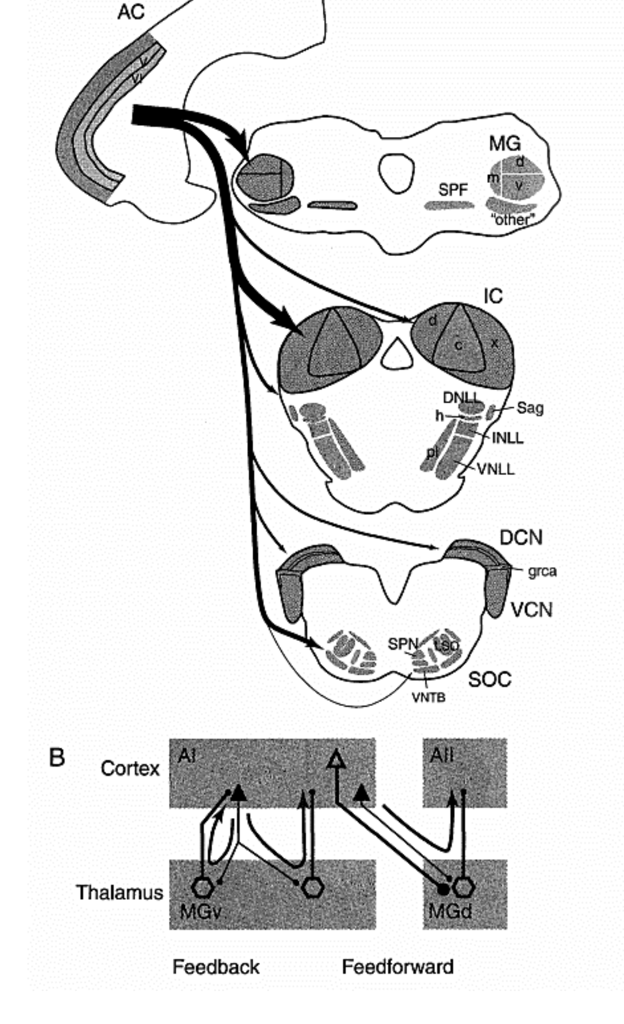




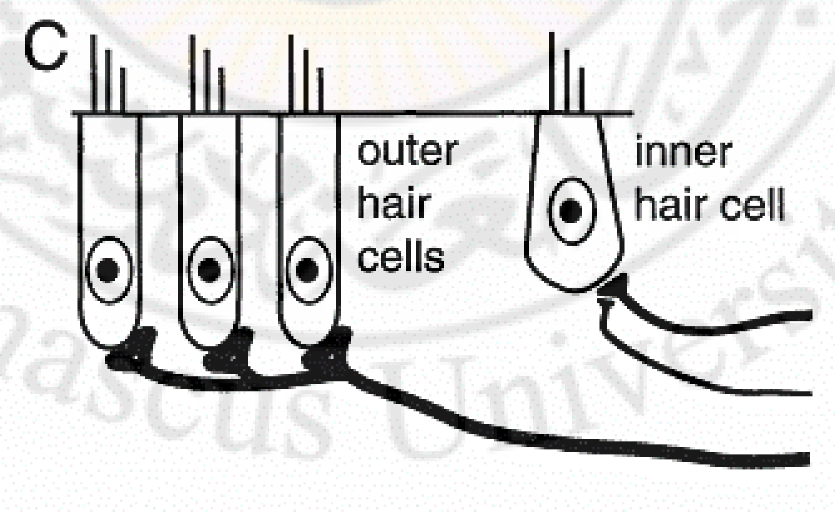



السبل السمعية الواردة
Area 41, transverse temporal gyri
Acoustic radiation
Lateral sulcus
Heschl's gyrus (Primary auditory cortex)
Nucleus of medial geniculate body
Inferior collicular nucleus
Commissure of inferior colliculi
Transverse temporal gyri
Lateral lemniscus
Nuclei of lateral lemniscus
Posterior cochlear nucleus
200 Hz
20 000 Hz
Medullary striae
Cochlear duct
Organ of Corti
Superior olivary nucleus
Inner hair cells
Spiral ganglion
Nucleus of trapezoid body
Cochlear nerve
Anterior cochlear nucleus
a
Insula
b
Heschl's gyrus (primary auditory cortex)

السبل السمعية الصادرة

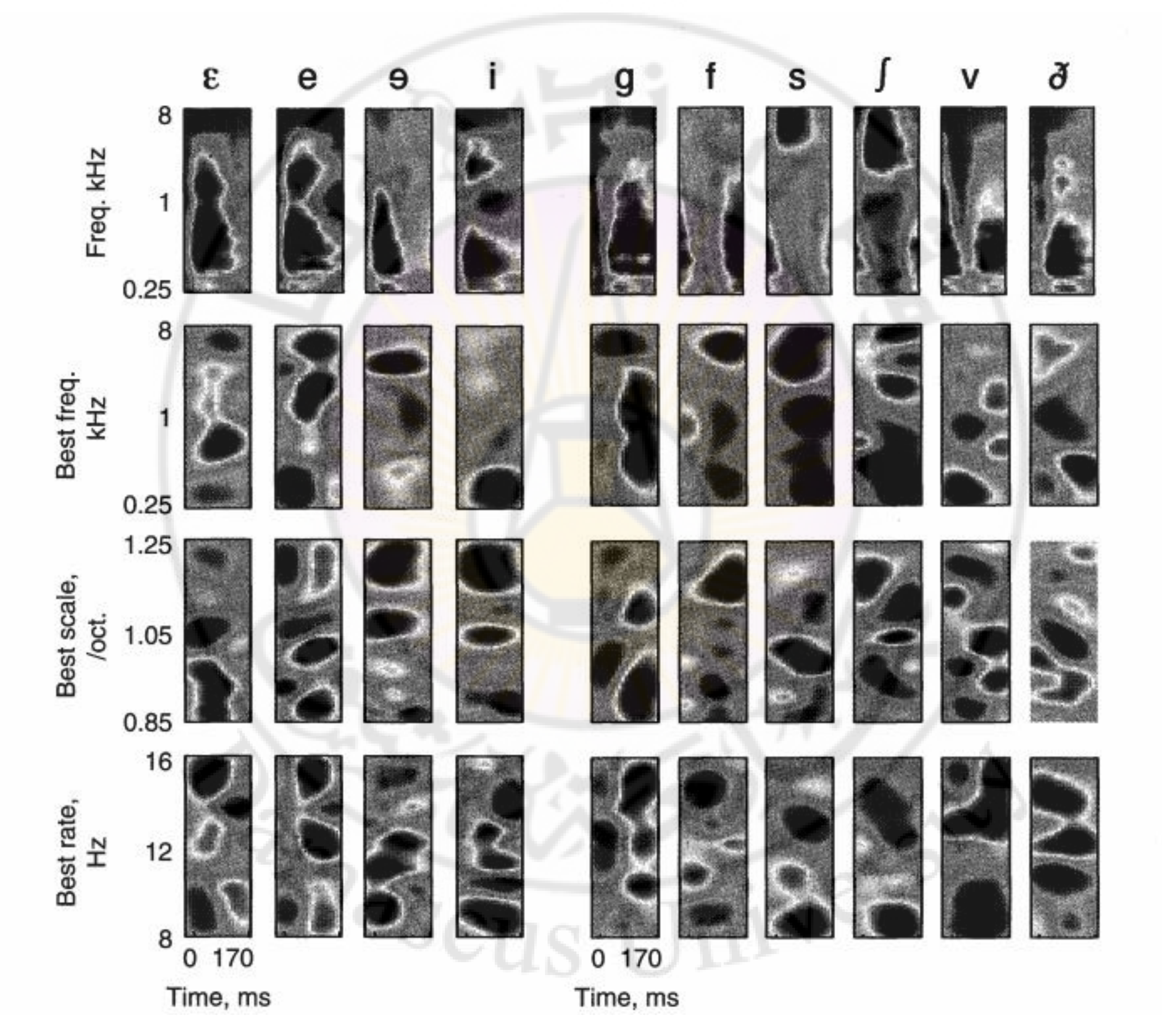


- وهي السبل التي تصدر من القشر وتتجه نحو المراكز الأدنى وصولا إلى الحلزون وتعتبر الطريق الأساسي للاستجابة بآلية التغذية الراجعة Feedback.
- أهم هذه السبل هو السبيل الزيتوني الصادرOlivocochlear efferent pathway.
- يقسم إلى سبيلين وحشي يختص بالخلايا المشعرة الداخلية وأنسي يرتبط بالخلايا المشعرة الخارجية.
- تلعب السبل الصادرة دورا تنظيميا للوظيفية السمعية وعلى وجه الخصوص يتميز السبيل الزيتوني الحلزوني بتنظيم وظيفة الحلزون كترميز الشدة والانضغاط Compressionوالتشويش والسمع في الضجيج



Speech Representation in Cortex

- بعد أن تم ترميز المعلومات المتعلقة بالتواتر والشدة عبر السبل الصاعدة (الواردة) تصل إلى الدماغ عبر السبيل المهادي القشر.
- تختلف الوظيفة القشرية عن باقي المستويات الأدنى حيث تقوم الخلايا القشرية باستخلاص الخصائص الصوتية وتعطي أولوية للاشارة الكلامية والتي تعتبر أهم مفصل في وظيفة القشر السمعي. يقوم استخلاص الخصائص الصوتية على مبدأ التمثيل representation أو تفسير الترميز decoding.
- تستجيب الخلايا في القشر السمعي لمعدل الاطلاق rate وحجم الاشارة scale وهذين المفتاحين cues يستخدمان في تمثيل الاشارة الكلامية.
- بالتالي يتم ترميز الصوائت والصوامت حسب طيفها التواتري وذلك من خلال ترميز المعدل والحجم المناسب لكل منها وتعتمد آلية مطابقة النماذج بين التبدلات المعدل والحجم وبين ذاكرة العصبونات التي تقوم بتمثيله وعند تطابق النموذج يتم تمثيل الفونيم المرمز في القشر وفي هذه المرحلة نكون قد انتقلنا من ترميز التواتر والشدة والزمن إلى ترميز أجزاء الكلام وهنا يطلق على هذه المرحلة إدراك الكلام speech comprehension.

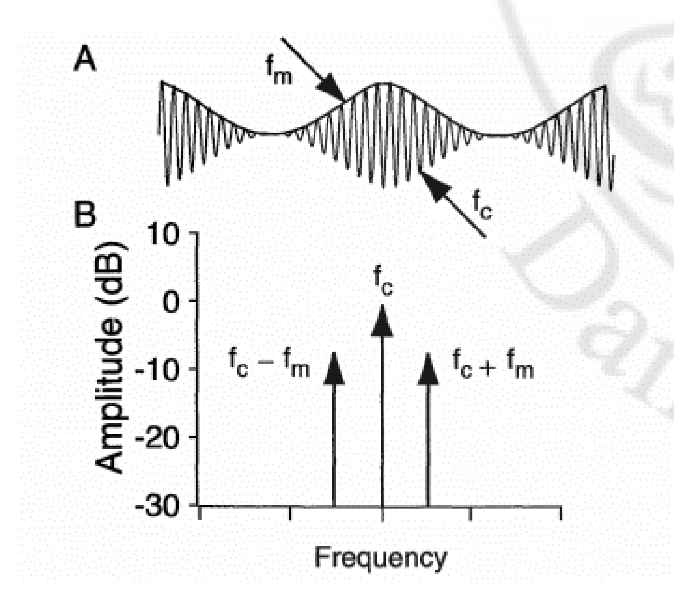

ɛ
e
ɘ
i
g
f
s
ʃ
v
ð
Freq. kHz
8
1
0.25
Best freq. kHz
8
1
0.25
Best scale, /oct.
1.25
1.05
0.85
Best rate, Hz
16
12
8
0 170
Time, ms
0 170
Time, ms

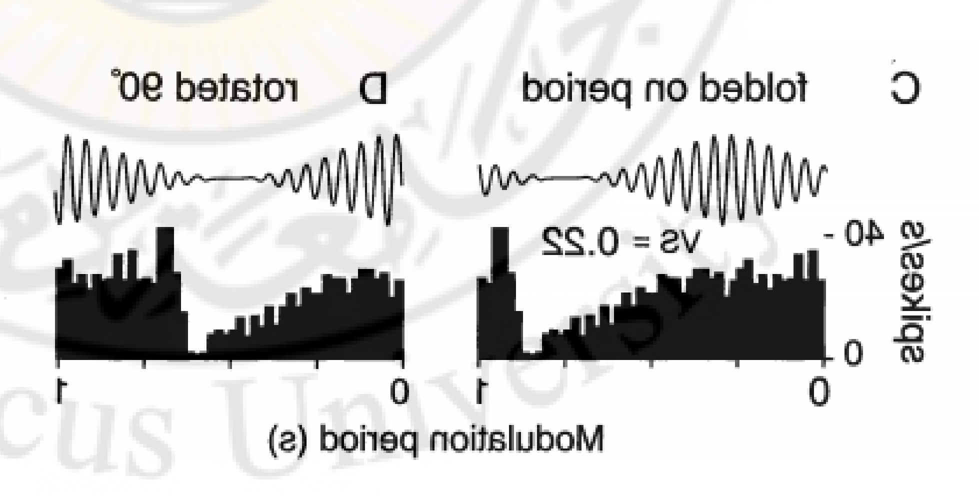
Speech Representation in Cortex

- بناء على النموذج المطروح آنفا بينت الدراسات المختلفة وجود العديد من الخرائط (النماذج Maps) المتداخلة والمتجاورة في القشر السمعي والتي يمكن تفعيلها بشكل متزامن او متتالي مع احترام خصائص المعالجة الزمنية (Coherence or Phase lag) وينتج عنها تمييز مكونات الكلام المختلفة.
- من المهم هنا معرفة أن هذه الوظيفة القشرية تتسم بأعلى درجات اللاخطية فمن الممكن أن يتم تقديم منبه مركب من العديد من الأصوات ويقوم الدماغ بالانصات لأضعف الأصوات شدة أو لطيف تواتري غير بارز ضمن المركب الصوتي المرمز والواصل إلى القشر وهذا الأمر يتعلق بدور الانتباه والسمع الانتخابي attention.
- كما يجدر بالذكر أن هذه الخصائص العصبية هي نوعية للجنس فمثلا يلفت انتباه الدماغ الانساني أولا للمنبهات الكلامية البشرية وتعتبر أكثر أهمية من أصوات باقي الكائنات.
- وأخيرا فإن هذه الوظيفة القشرية لاتكون ثابتة دوما حتى في حال مطابقة النماذج وإنما تتبدل حسب الظروف اللحظية والملاحظة السلوكية والانتباه وغيرها. جميع هذه العوامل تفسر التباين في الاستجابة للمنبهات الكلامية من مستمع لآخر ومن بيئة لأخرى وغيرها.

تمثيل الشدة و التبدل Modulation

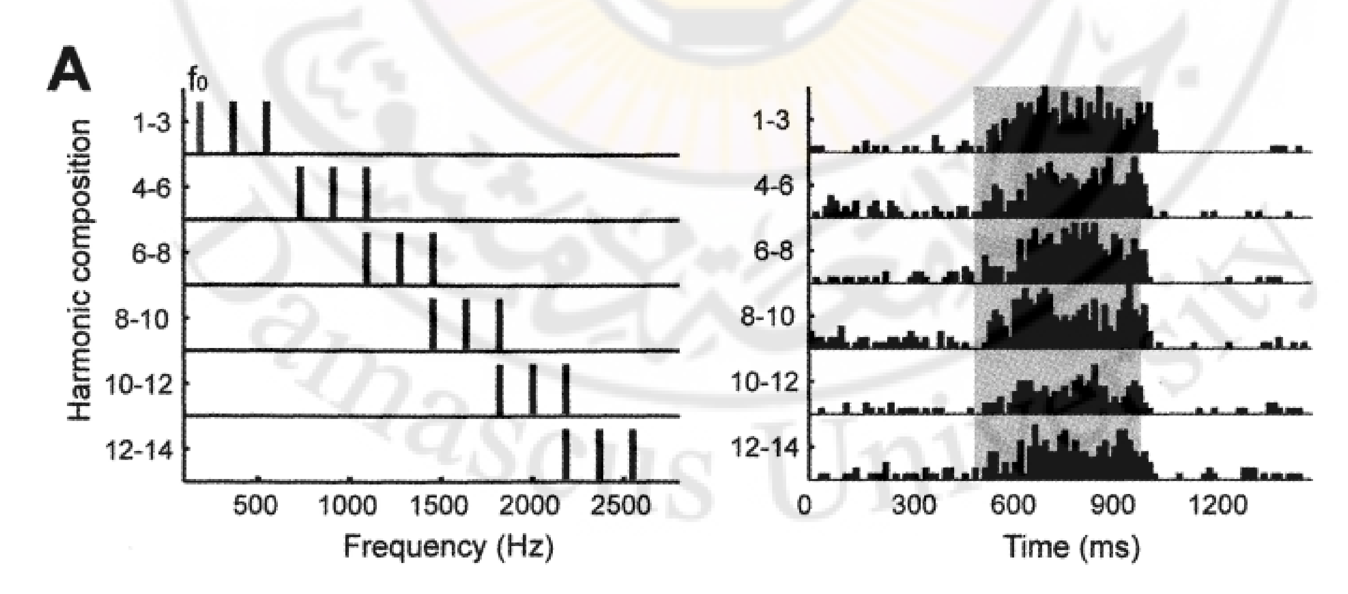
- اعتمادا على نفس المبدأ المتعلق بال rate & scale تتمكن الخلايا القشرية من تمثيل المعلومات المتعلقة بشدة الصوت الوارد إلى الدماغ. يحتفظ القشر بكل خصائص المستويات الأدنى من اللاخطية وضغط الشدة والتشويش يضاف إليها خصائص التشويش المركزي والتي لاتحدث إلا في القشر.
- أما عن ترميز التبدل أو الماجوليشن فيتم في مستويات معينة من جذع الدماغ حيث توجد خلايا متخصصة بكشف التغير حيث تقوم هذه الخلايا بترميز تواتر التغيير وترفعه إلى الدماغ ليتم التعامل معه لاكمال المشهد السمعي من أهم تطبيقات هذه الوظيفة ترميز مغلف الكلام speech envelope والذي يلعب دورا هاما في فهم الكلام وإعطاءه معناه وتنغيمه Prosody .





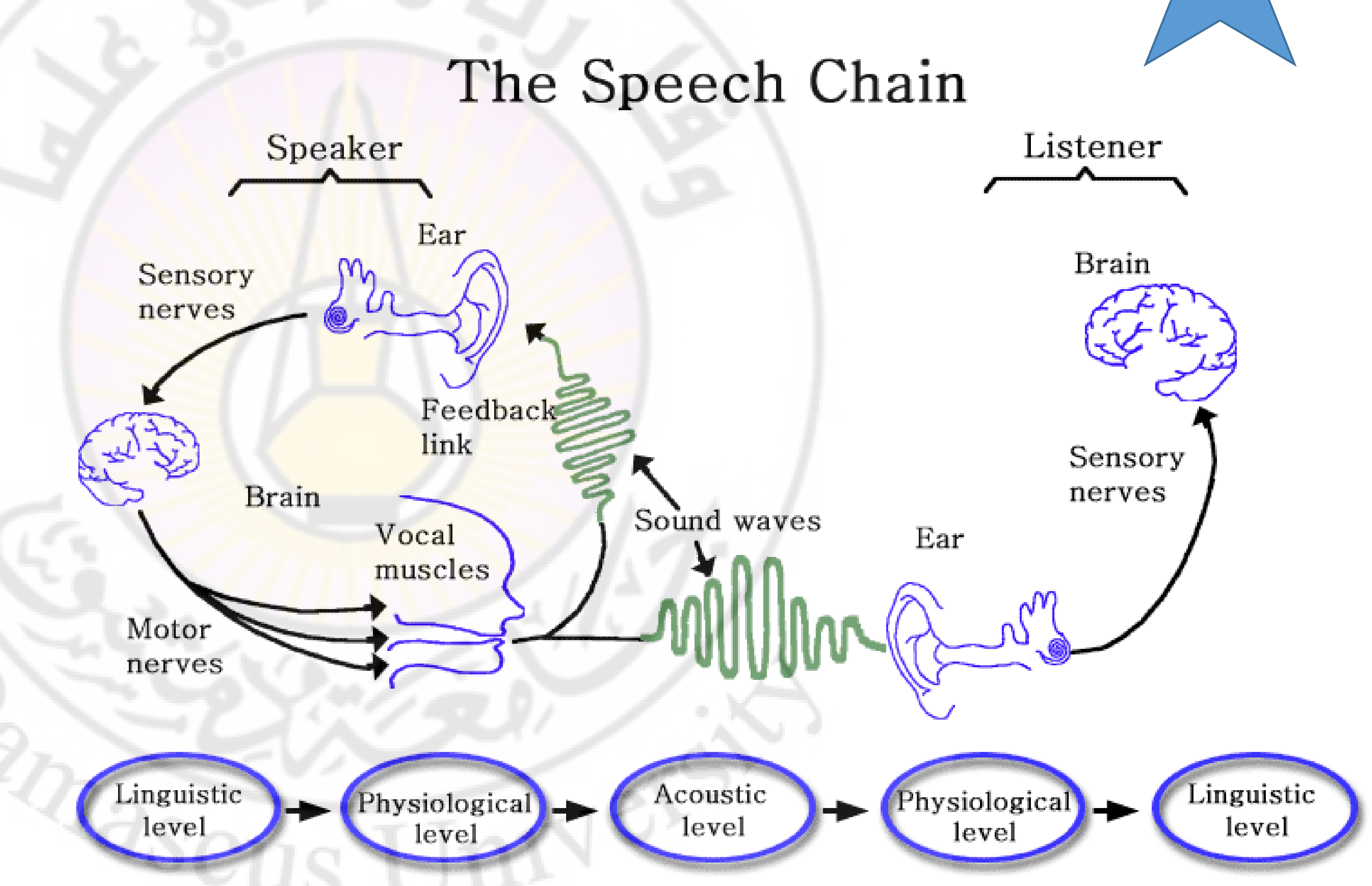
تمثيل طبقة الصوت Pitch perception

- يعتبر إدراك الطبقة أمرا حاسما لفهم الكلام وتذوق الموسيقا وتمييز الأصوات في البيئات السمعية المعقدة.
- يعتمد الدماغ بشكل أساسي على إدراك الطبقة في المعالجة السمعية المركزية حيث يتم استخدام خصائص المركبات المنسجمة والتحليل الطيفي والنماذج الزمنية الدورية لإدراك الطبقة.
- يعتمد الدماغ بالدرجة الأولى على مطابق النماذج الزمنية لادراك الطبقة ويتم ذلك من خلال تحليل خصائص الاستجابة العصبية التي تكون بشكل هيستوغرام فاصلي Interval histogram والذي بالقوة سيحمل خصائص طيفية تتعلق بالمعلومات الزمنية المرمزة فيه والتي قد تكون مركبة وهنا يقوم الدماغ بادراك الطبقة الاكثر بروزا بين النماذج المخزنة وهذا ما يسمى سيطرة الطبقة Pitch Salience.



Speech Perception

Speech perception involves the mapping of speech acoustic signals onto linguistic messages (e.g., phonemes, distinctive features, syllables, words, phrases…)



Perceptual units of speech



- **Phonemes:**
  - The smallest unit of the sound system in a language
  - consonants and vowels
  - If you change a phoneme in a word, the meaning of the word is also changed. (e.g., hip ☛ tip; cat ☛ hat; dog ☛ dig)
- In English there are 47 phonemes:
  - 13 major vowel sounds
  - 24 major consonant sounds
- Different languages have different phonemes

Segments vs. Supra-segments

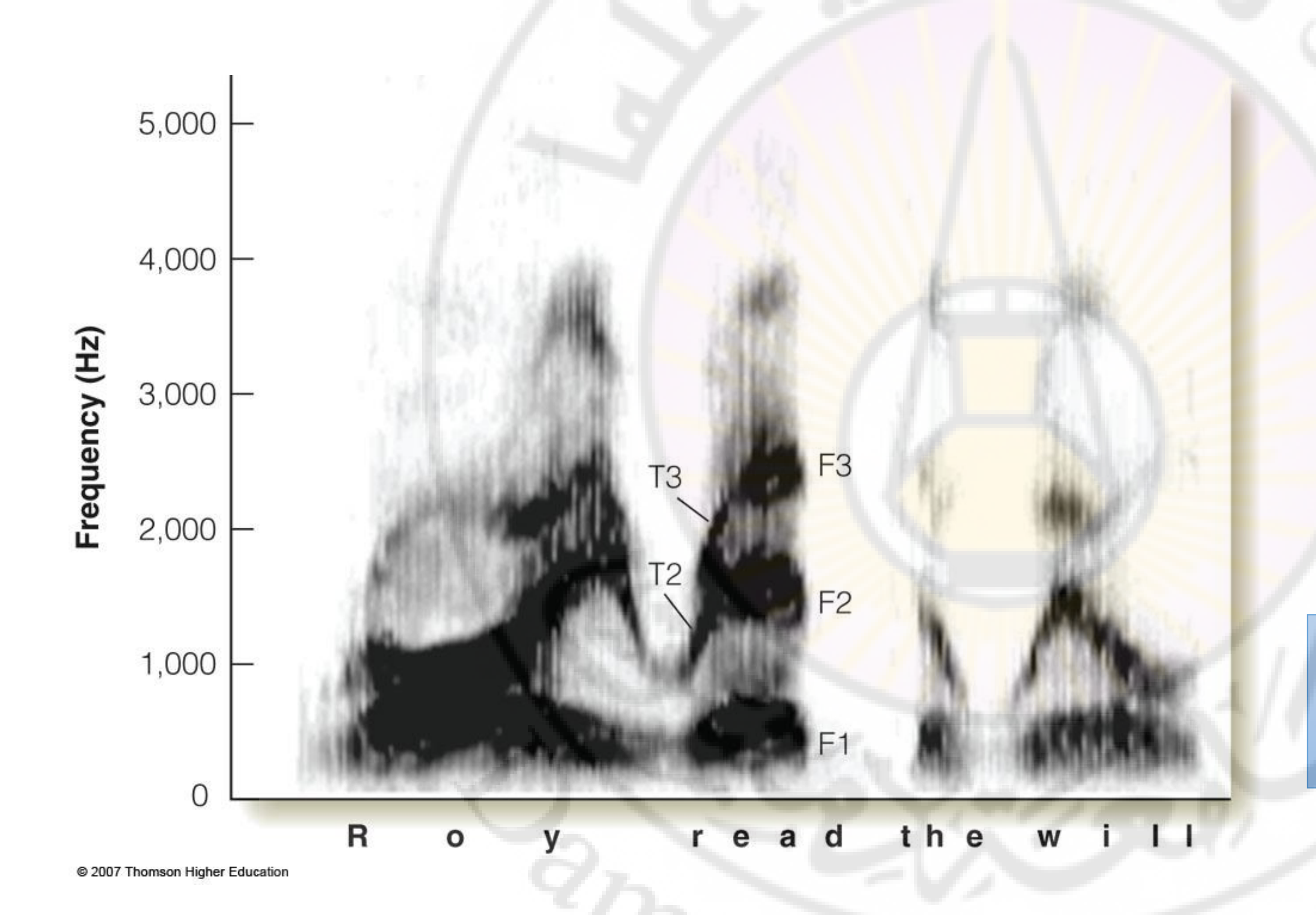
Segments (phonemes)	Supra-segments (prosody)
Vowel, consonant	F0, duration, energy
Intelligibility	Naturalness (stress, rhythm, intonation, emotion)

Speech Acoustics

- periodicity
- Formant structure
- Frequency transition
- Acoustic Onsets
- Envelope

Fundamental Frequency





Human voice F0:

Average for men = 80 - 200 Hz

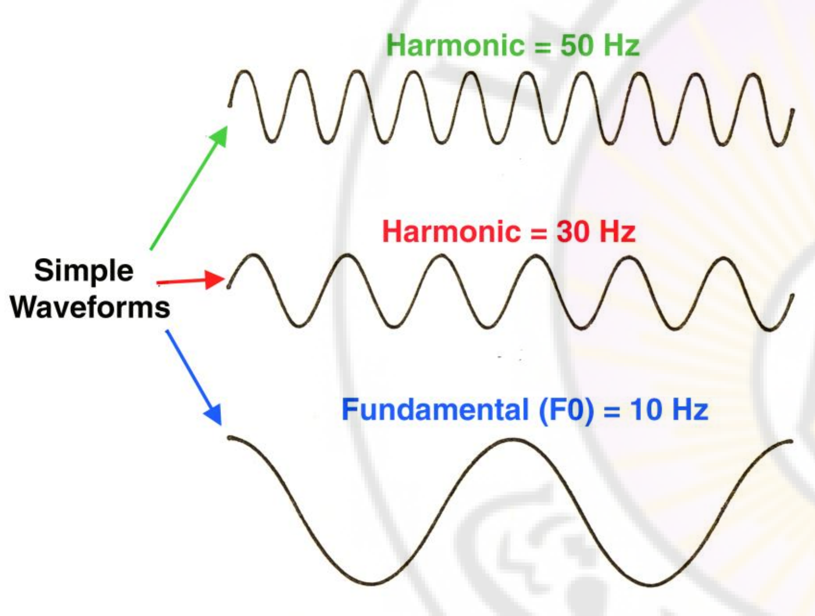
Average for women= up to 400 Hz

Harmonic Structure

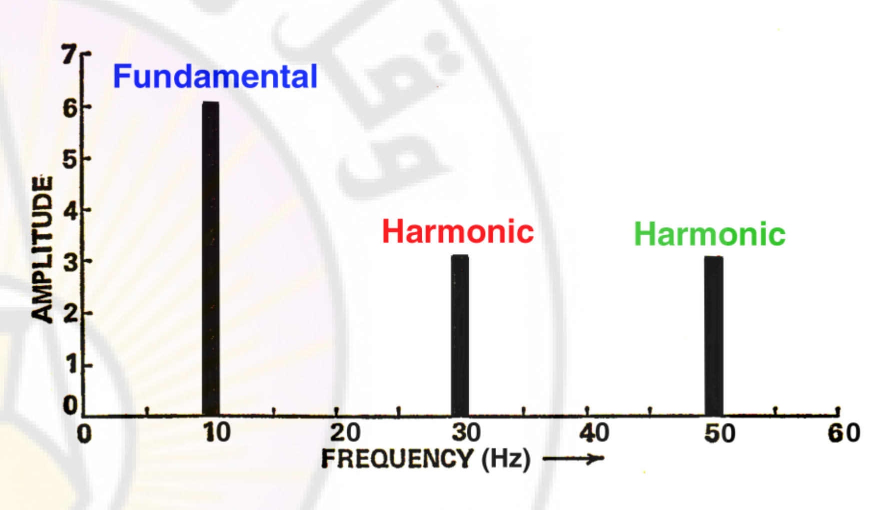


Complex Waveform = Sum of Simple Waveforms





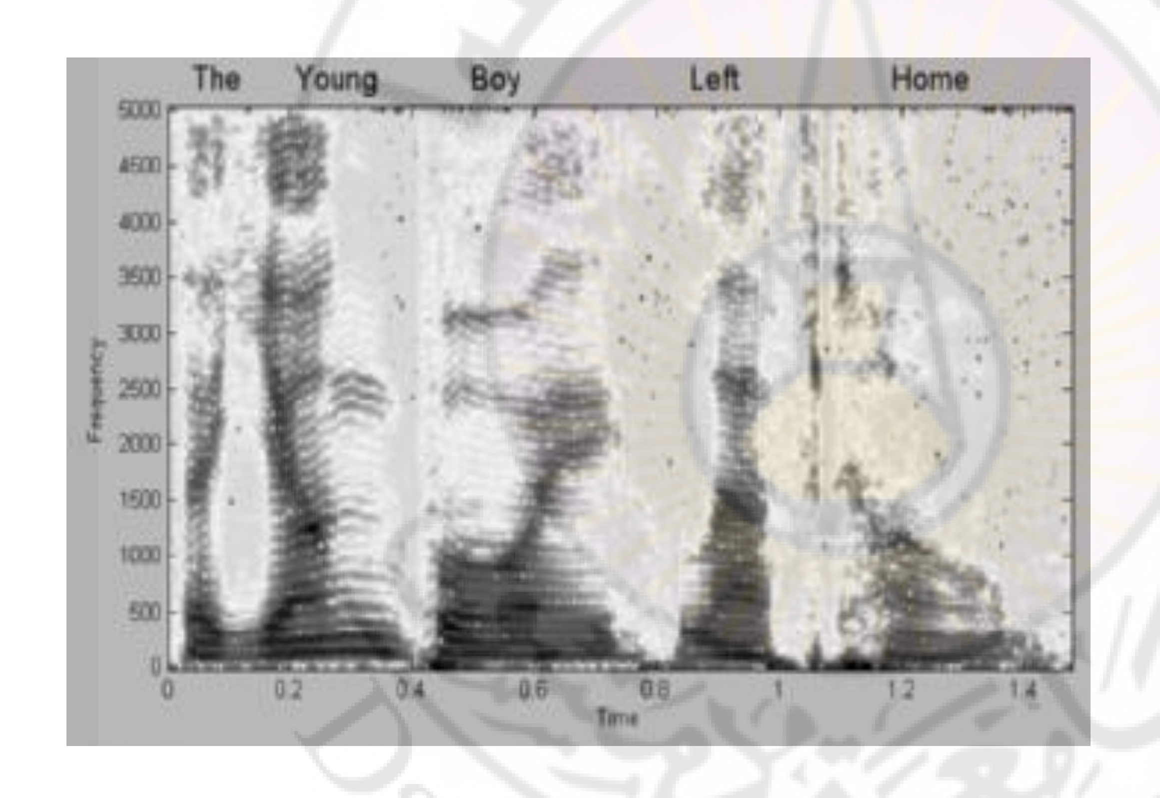


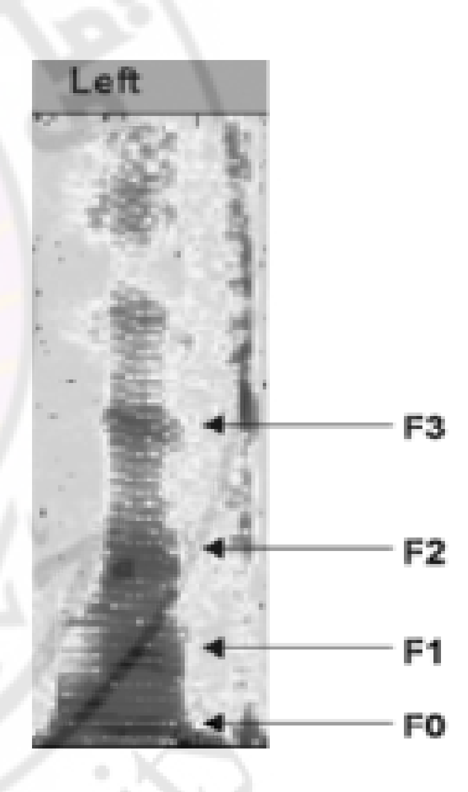


Frequency Spectrum shows one "moment" in time

Formant Structure



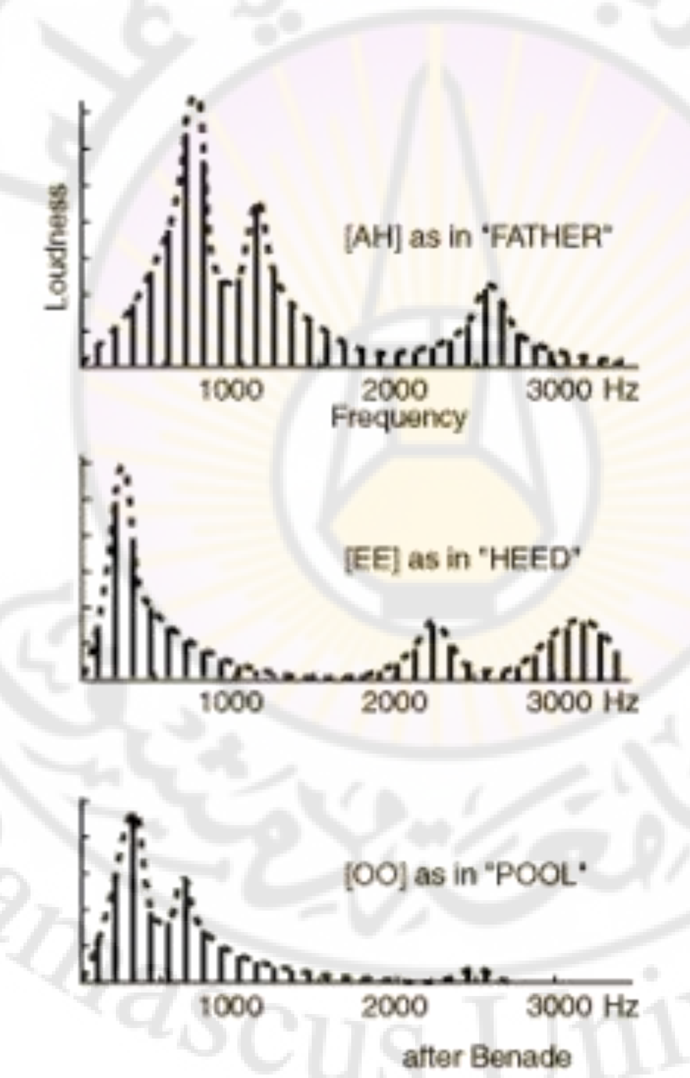


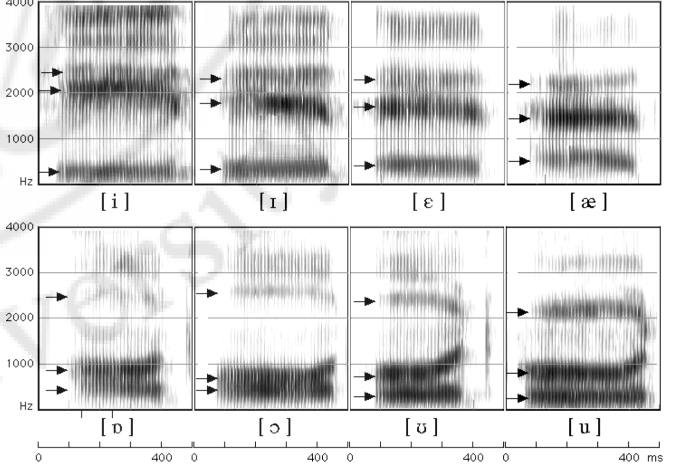


Vowel Perception









Asymmetries of Auditory Areas of Cerebrum

- Functional asymmetry and left-sided dominance for speech sound encoding is present even **at the level of the thalamus**, indicating that laterality of some auditory functions may be a fundamental principle of elemental sensory representation of speech.

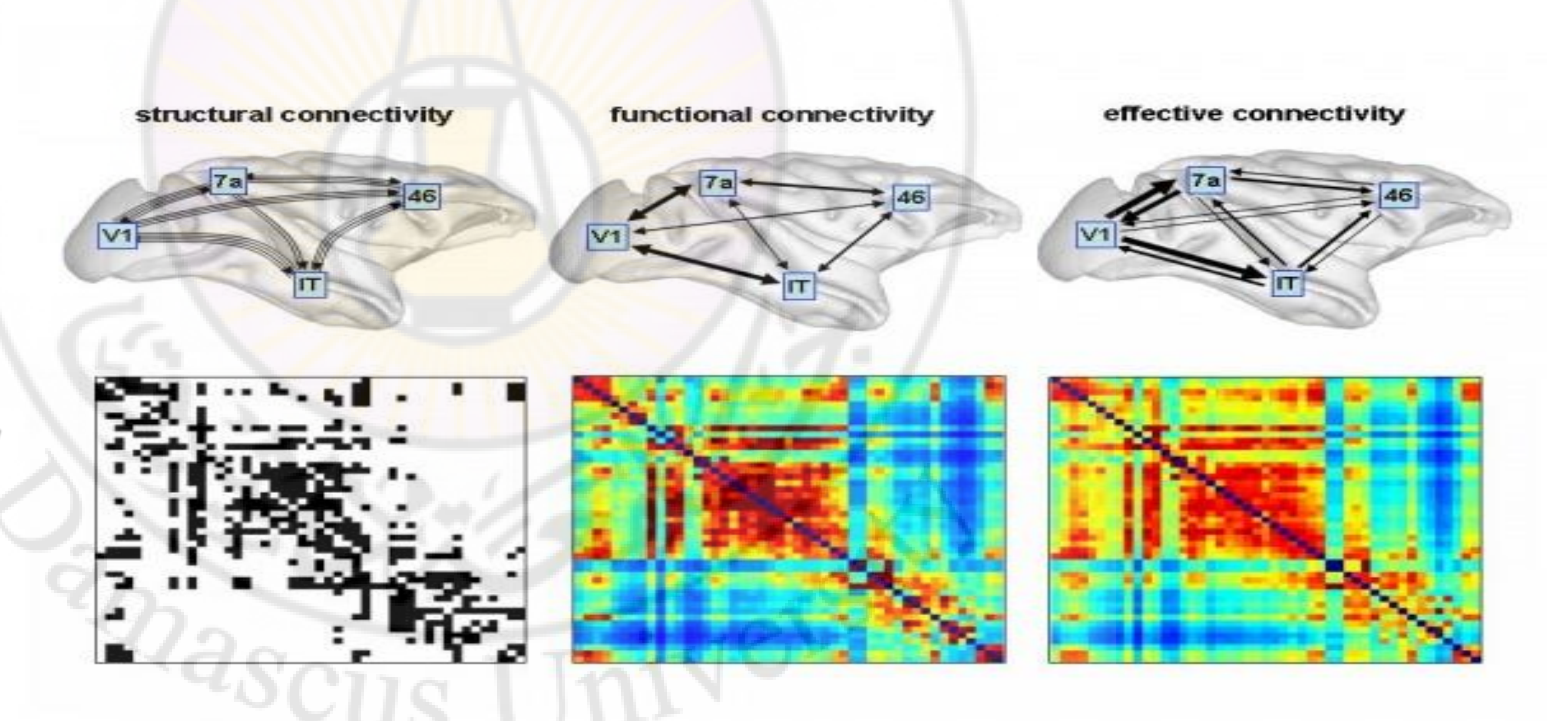
Higher cortical function



Brain Connectivity

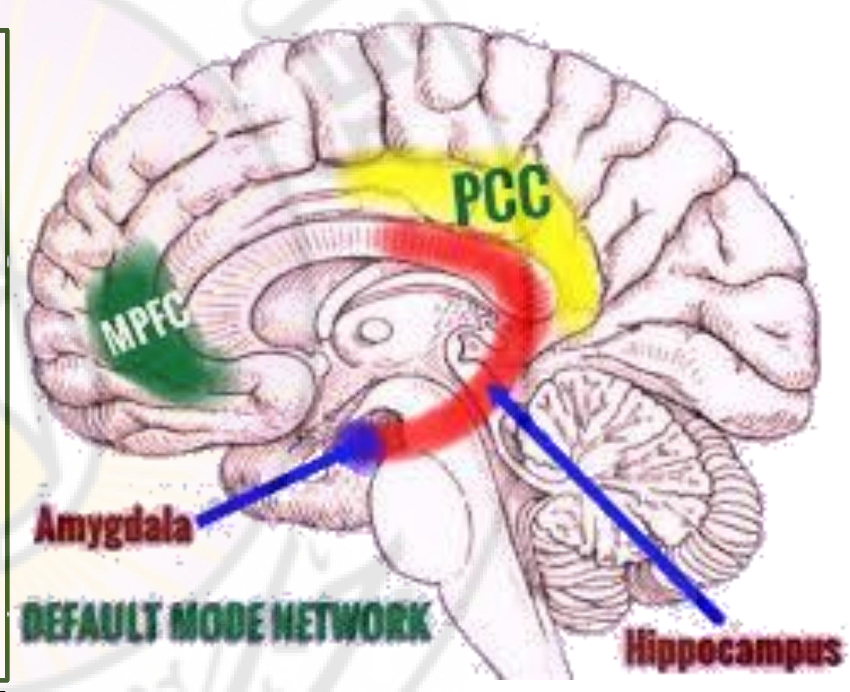
Brain connectivity refers to a pattern of anatomical links ("anatomical connectivity"), of statistical dependencies ("functional connectivity") or of causal interactions ("effective connectivity") between distinct units within a nervous system.

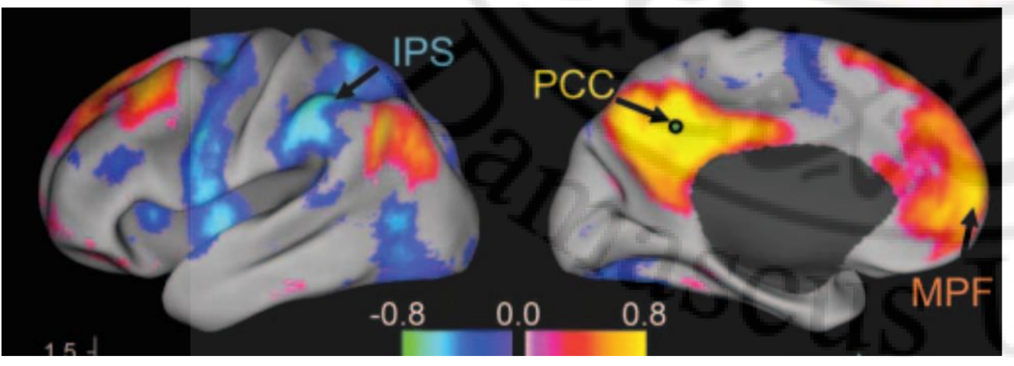
- ❖ **Anatomical connectivity**
- ❖ **Functional connectivity = Connectome**
- ❖ **Effective connectivity**

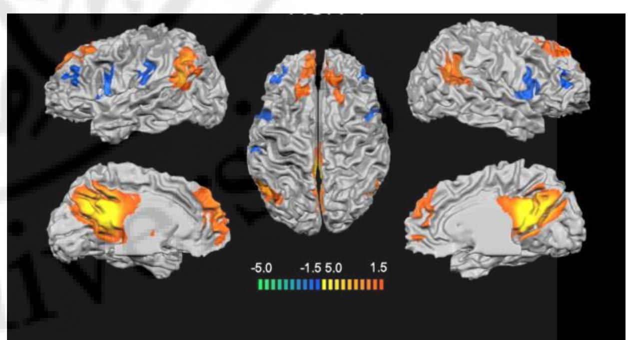


The default mode network, DMN

- The DMN typically comprises of nodes in **the posterior cingulate/**precuneus, bilateral superior frontal gyrus, **medial frontal gyrus** and angular gyrus.
- The DMN was therefore termed a “baseline” state of the brain.
- Decreased activity during cognitive tasks
- Inversely related to regions activated by cognitive tasks

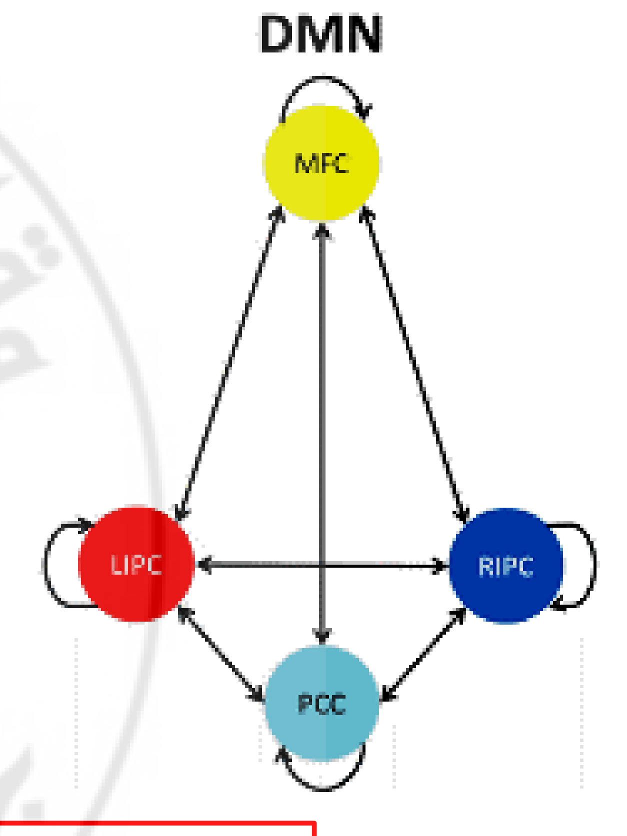






DMN Importance..

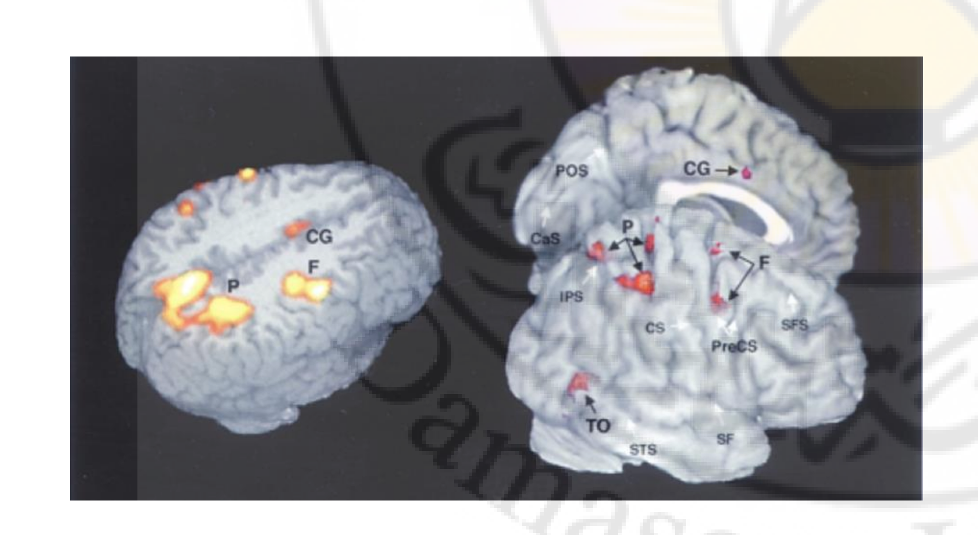
- The DMN has been linked to many processes:
  - ✓Episodic memory (Greicius and Menon 2004)
  - ✓Memory consolidation (Miall and Robertson 2006)
  - ✓Social (Iacoboni, et al. 2004; Uddin, et al. 2005)
  - ✓Self-related processes (Buckner and Carroll 2007)
  - ✓Stimulus-independent (Mason, et al. 2007)
  - ✓Task-unrelated thought (McKiernan, et al. 2006)

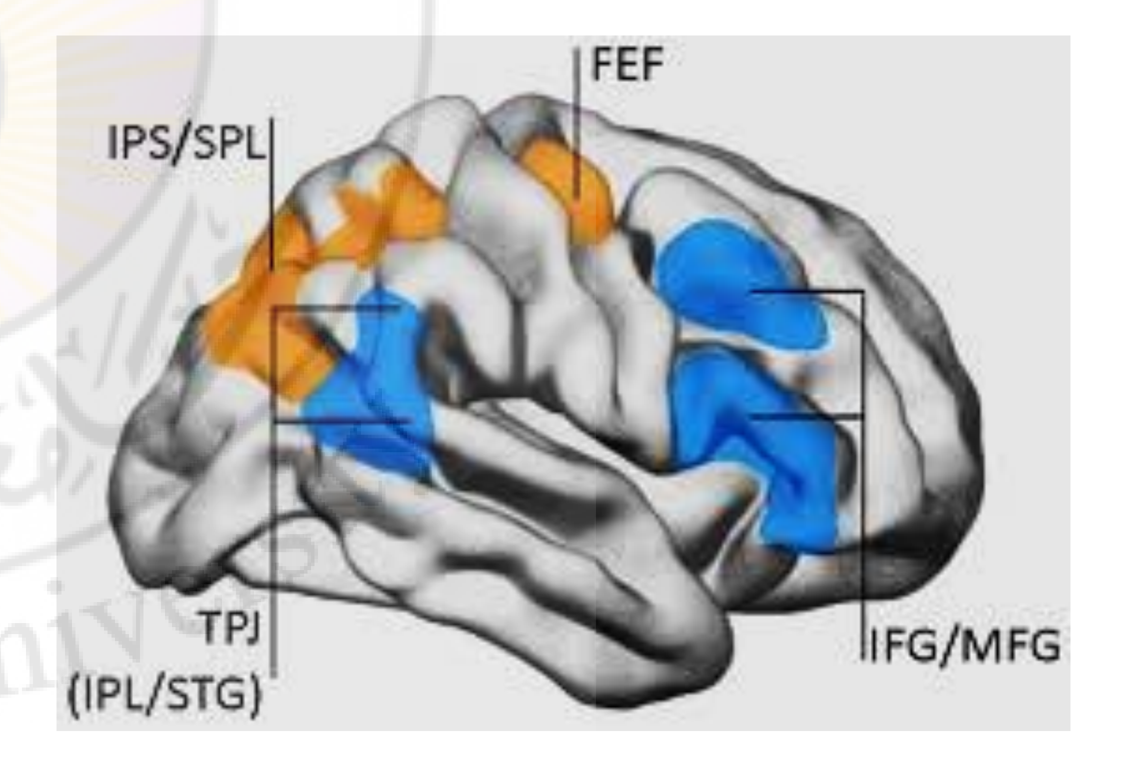


- Differences in activity of the default mode network have been linked to cognitive deficits in a number of clinical populations.
- To date, abnormalities in the DMN have been demonstrated in individuals with:
  - ✓ Autism spectrum disorders (Kennedy, et al. 2006)
  - ✓ Alzheimer's disease (Buckner, et al. 2005; Wang, et al. 2006)
  - ✓ Schizophrenia (Liang, et al. 2006; Liu, et al. 2006)
  - ✓ Attention-deficit/hyperactivity disorder (Zang, et al. 2007)

Attention Networks..

- ✓ **The dorsal attention network**: where
- ✓ **The ventral attention network:** what
- ✓ **The executive control of attention network:** Top-Down control





Information Processing Theory

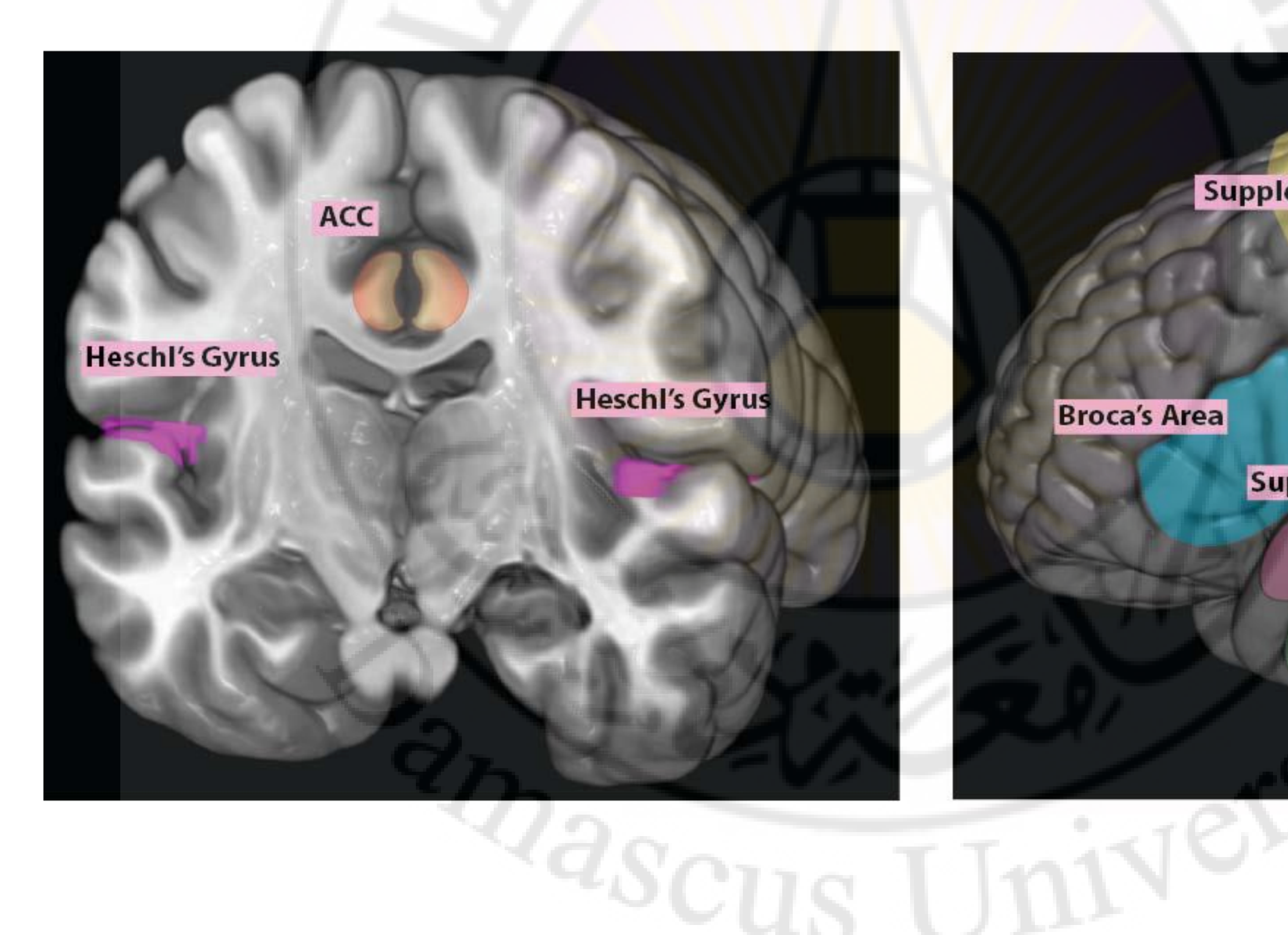
Bottom-up Theory (data-driven)

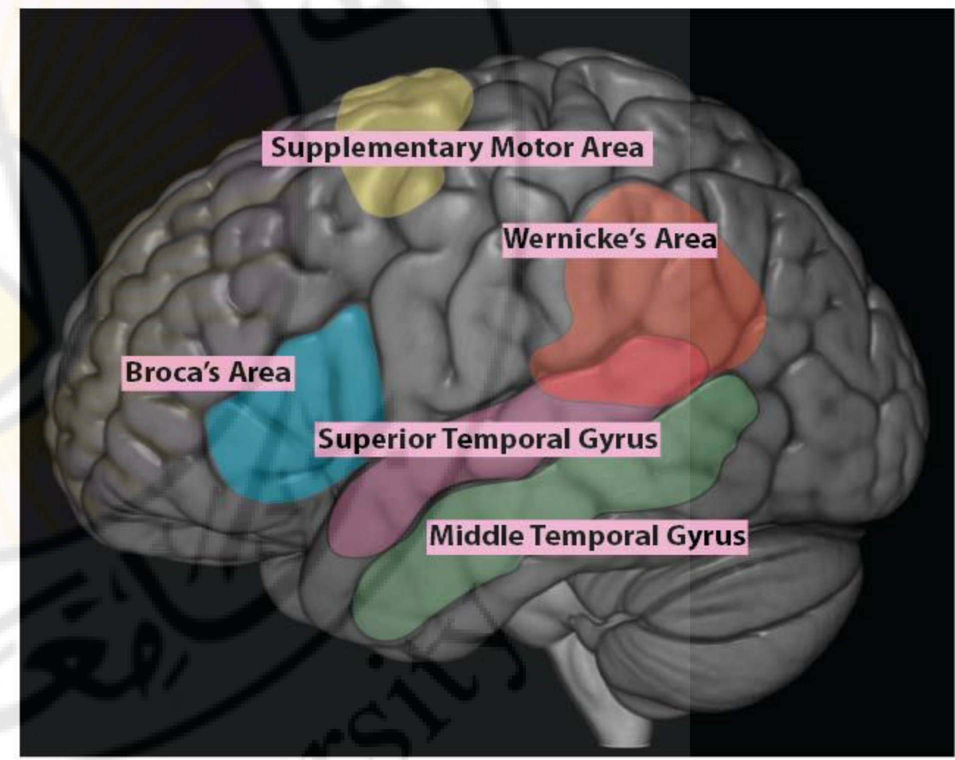
- Processes of acoustic signal encoding
  - Critical for speech perception and understanding.
  - Occur in the auditory system prior to:
    - Higher-order cognitive.
    - Linguistic operations at the cortical level.
- These factors are influenced by higher order (top-down) factors.

Top-down Theory (Higher-order)

- Attention, memory, cognition, language, etc.
- Linguistic competence through the presence of complex feedback and feed forward mechanisms.

Auditory and language network





Hierarchical Processing:

Core → belt → Parabelt

Complex sounds are processed later

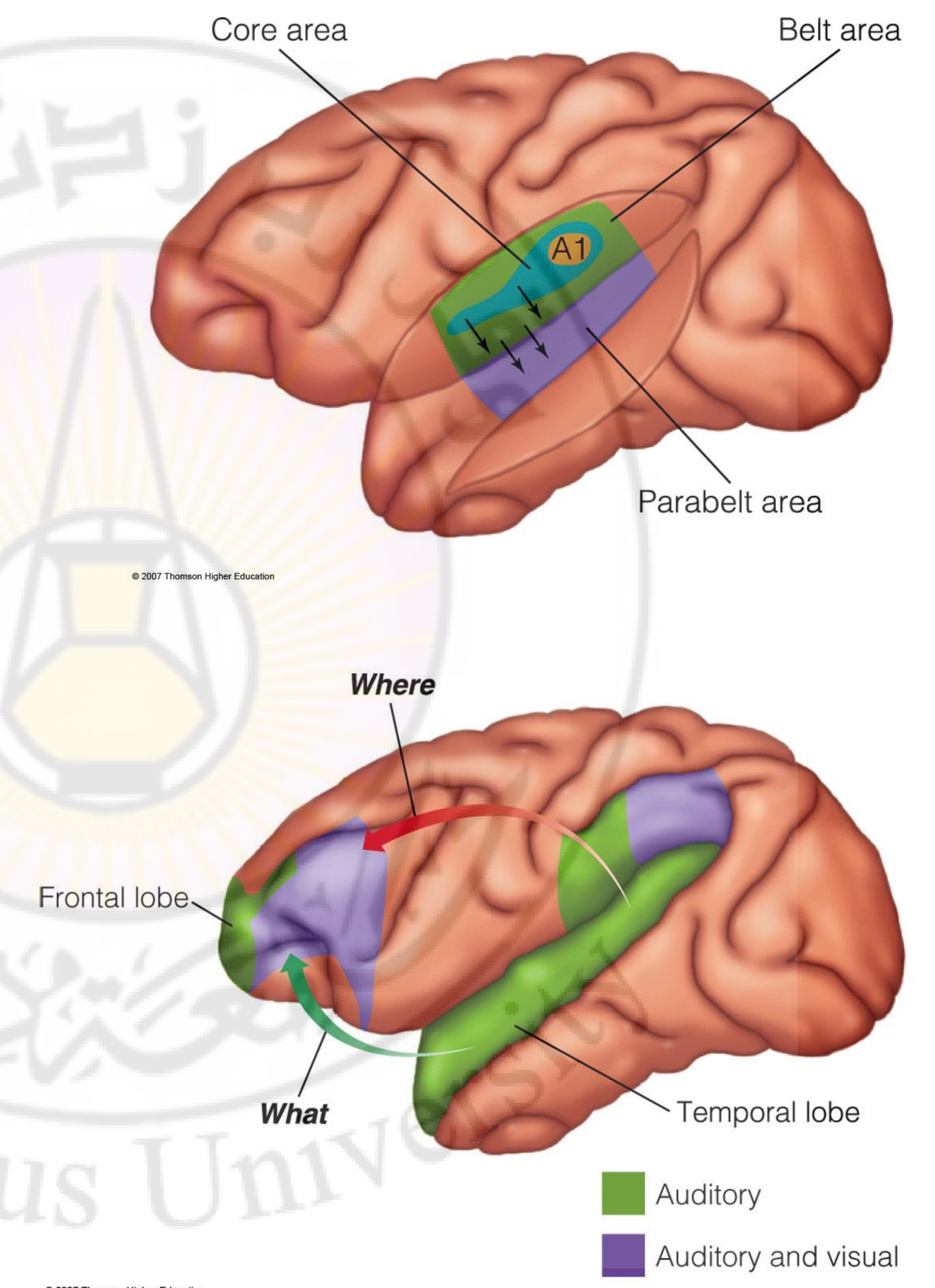
What vs. Where system:

Where: dorsal pathway

→Sound localization

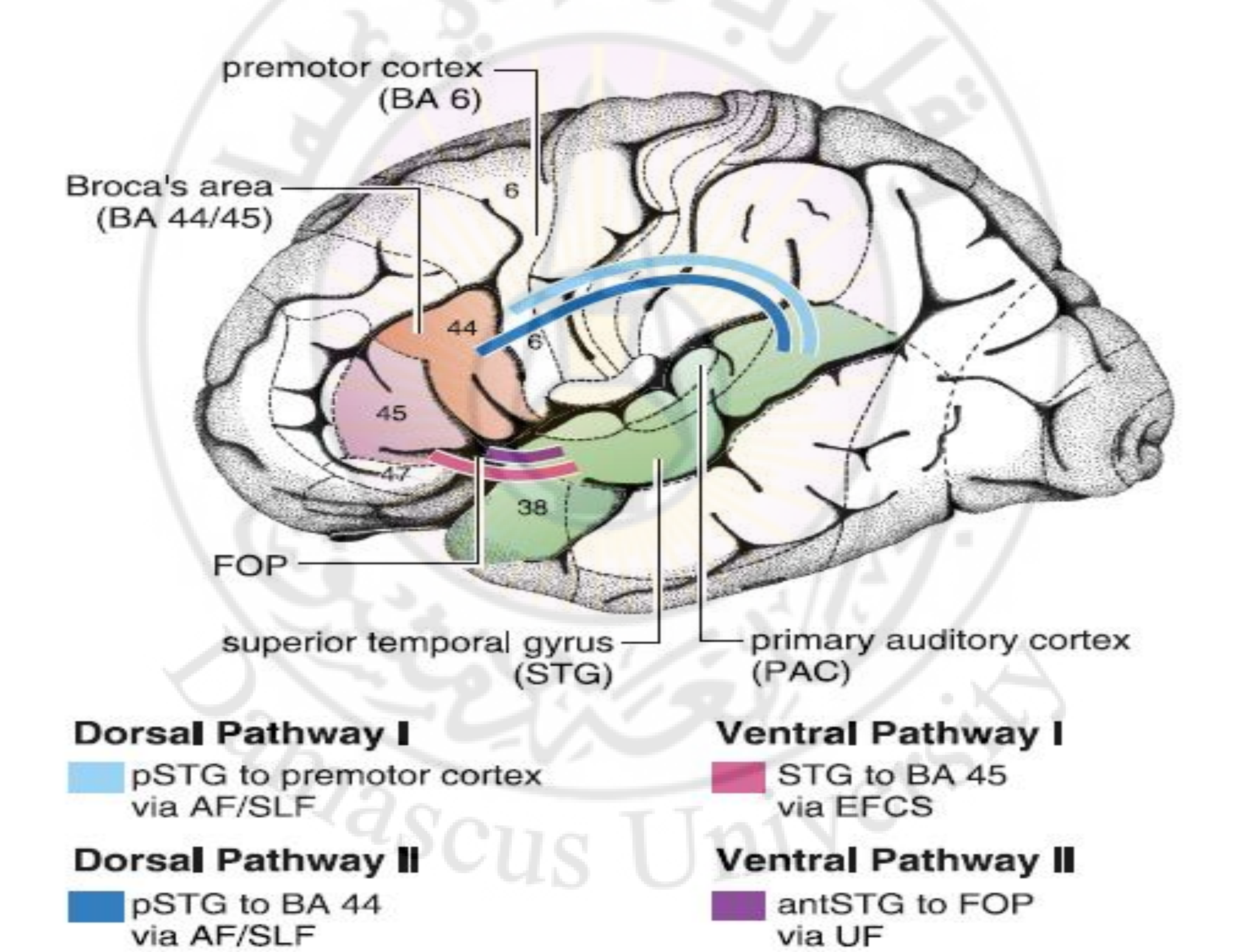
What: ventral pathway

→ Identifying sounds



Brain networks for language

Structural connectivities





أي سؤال ؟؟



جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية

Physiology of Hearing & Balance 10

An introduction to the vestibular function

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
Faculty member and Vice Dean in Damascus University
June 2023

التوازن Balance

- يعتبر تحديد وضع البدن في الفراغ وتوجيهه Orientation من أهم وظائف الجهاز االدهليزي.
- يتم ذلك من خلال تكامل الاشارات الواصلة من الأجهة الثلاثة الدهليزي والبصري والحس العميق في جذع الدماغ vestibular, visual and proprioceptive receptors

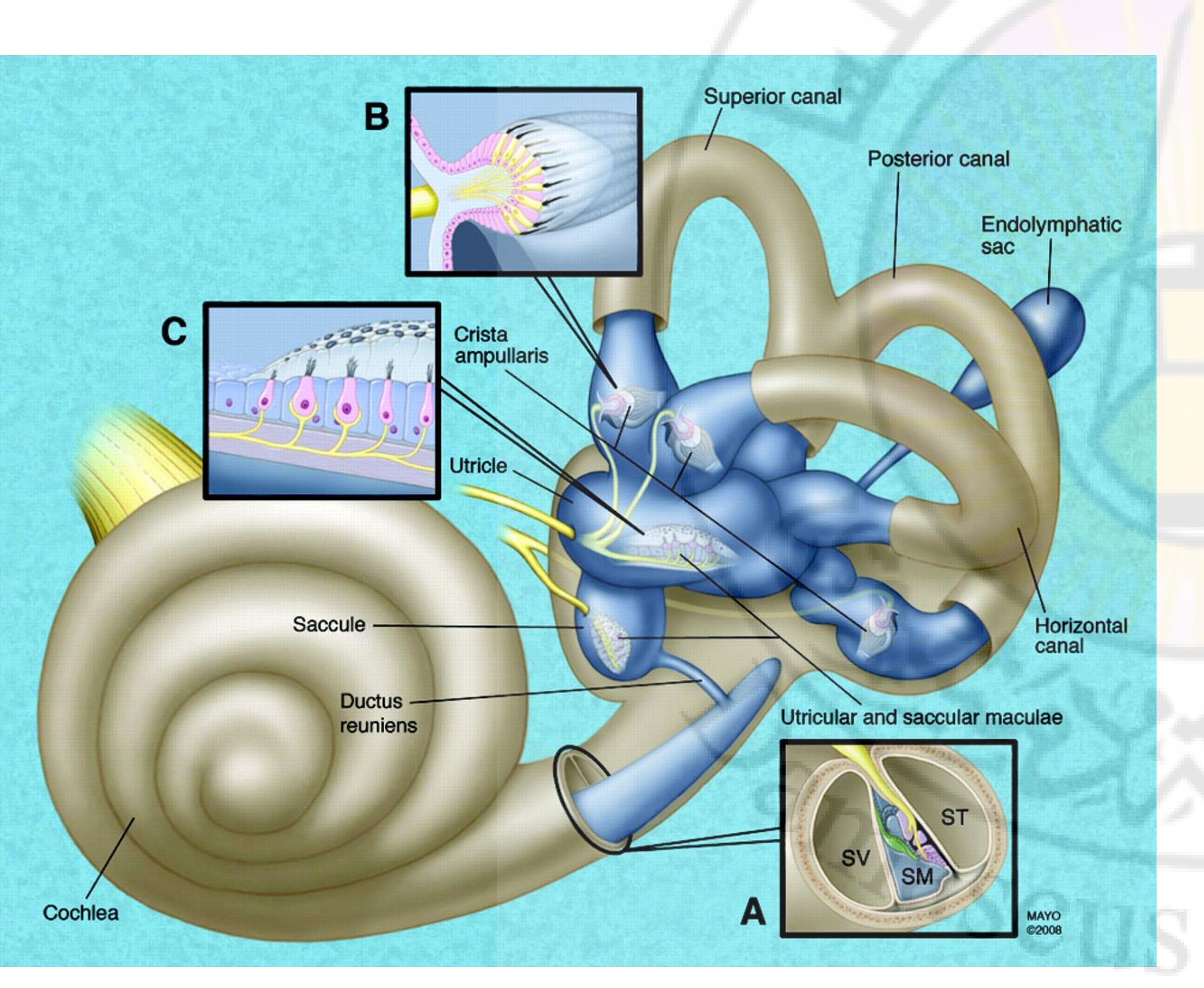




وظائف جهاز التوازن

- التحكم الدقيق بالتحديق gaze
- التحكم بوضعية الجسم في الفراغ.
- المنعكسات الذاتية (البصرية والمخيخية والحس العميق)
- تحديد الجهة بالفضاء (جهة الحركة، التوجه Orientation باحساس موقع الفرد في المكان)
- الملاحة المكانية Navigation

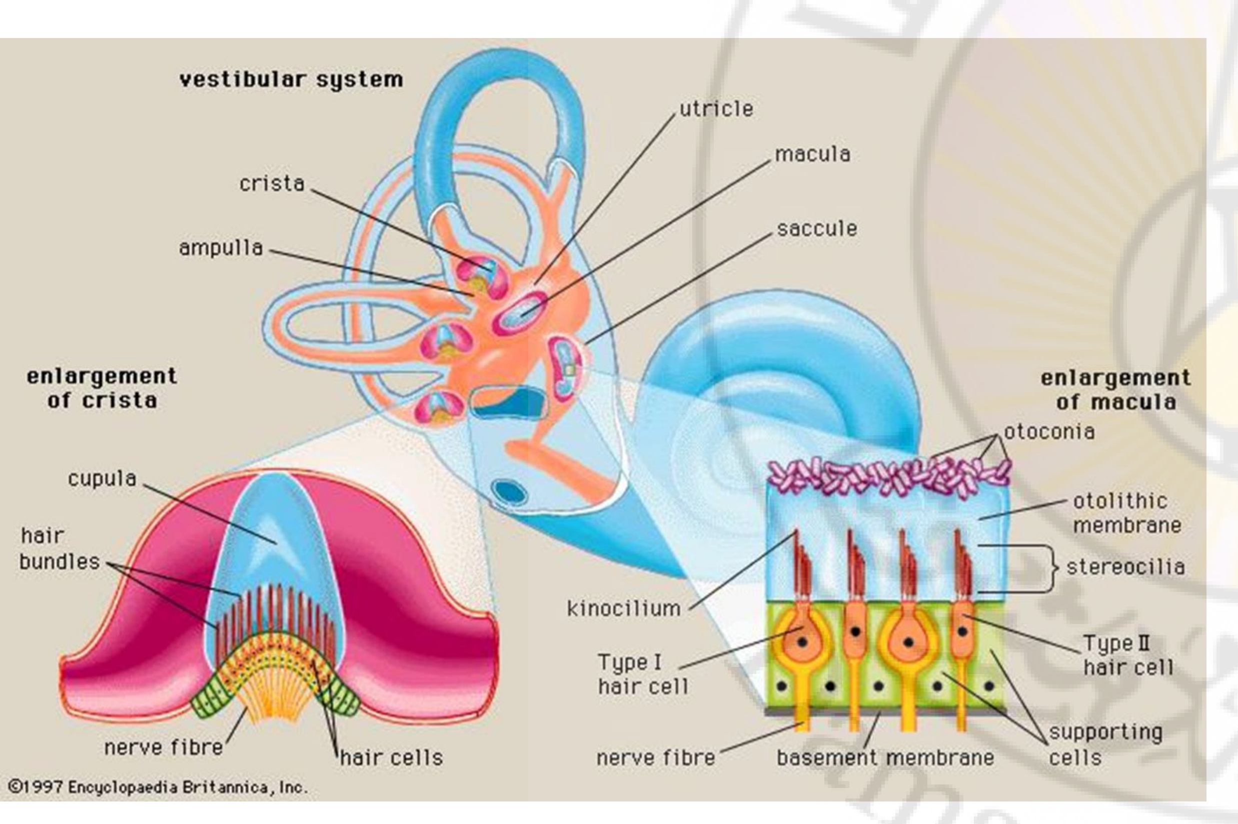
الجهاز الدهليزي



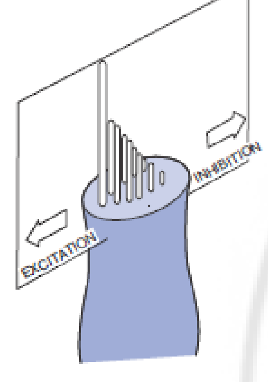
- الجهاز الدهليزي مع الجهاز البصري والحسي العميق (somatosensory) مسؤولين عن استقرار وضعة الشخص أي توازنه.
- يقع الدهليز على كل جانب في مساحة سنتيمتر مكعب واحد وحشي وخلف القوقعة.
- يتكون الجزء الدهليزي من التيه الغشائي من ثلاث قنوات نصف دائرية على كل جانب، القريبة والكييس، جنبًا إلى جنب مع القوقعة والكيس اللمفي الباطن اللذان يخلقان مساحة مغلقة مليئة بسائل اللمف الباطن.

الجهاز الدهليزي

- المستقبل الحسي الدهليزي: يتكون من خلايا مشعرة وخلايا داعمة تقع في القنوات نصف الدائرية على العرف المجلي Crista Ampularis.
- أما في القريبة والكييس فتوجد هذه الخلايا ضمن منطقة حسية تسمى اللطخة Macula حيث تحيط بها الخلايا الداكنة والتي تلعب دور افرازي ومغذي هام.
- يغطي الخلايا الحسية في الدهليز منطقة جيلاتينية كالغطاء (القبعة) وتسمى الCupula حيث تتراكم عليها بللورات البولي سكاريد وتنغرس ضمنها أشعار الخلايا الحسية.
- تسمى القريبة والكييس بالأعضاء الأوتوليتية ويغطي الخلايا الحسية فيها غشاء اتوليتي غني ببللورات كربونات الكالسيوم والتي تسمى بالرمال الأذنية Otolith.



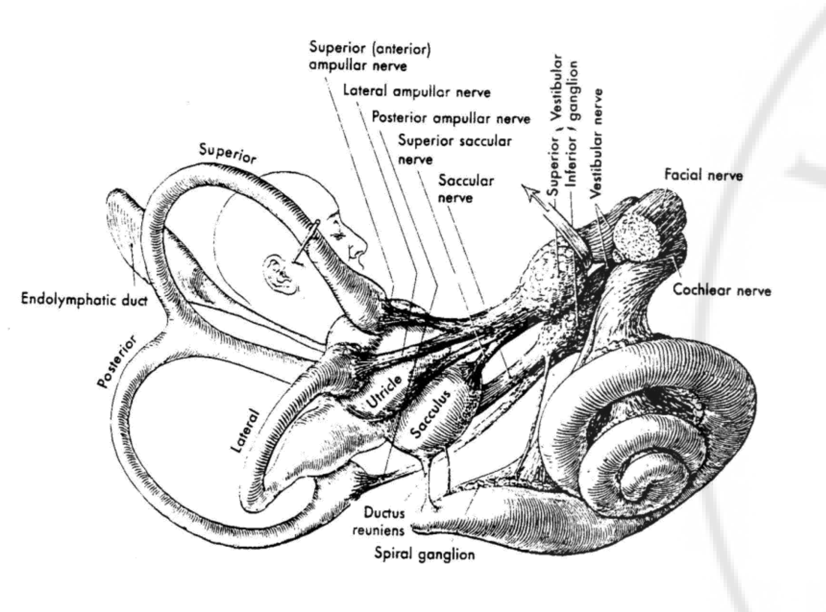
الخلايا المشعرة في الدهليز

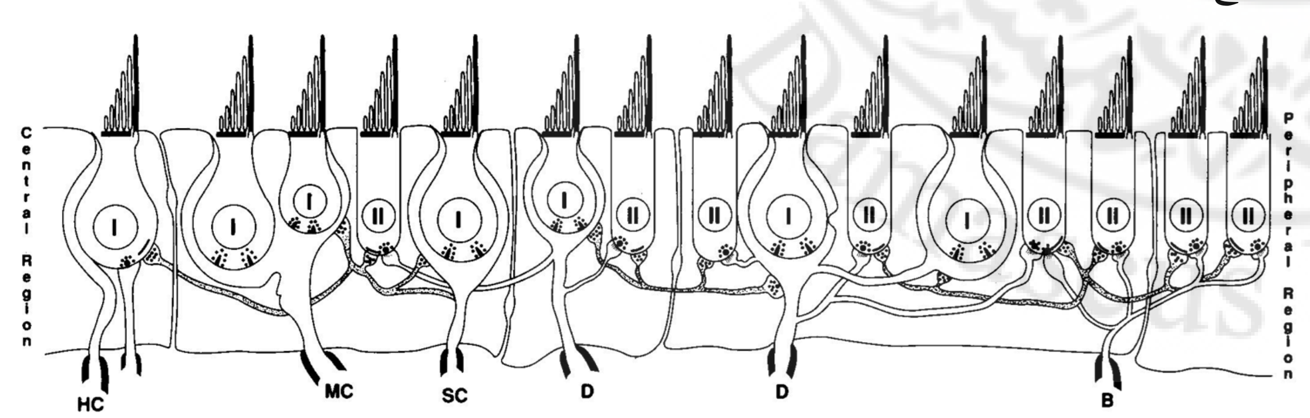


- يوجد في المخاطية الحسية في الدهليز سواء في المجاري نصف دائرية أو في الأعضاء الأتوليتية خلايا مشعرة وهي نوعين I وII وهذه الخلايا تمتلك الكثير من التشابه مع الخلايا المشعرة للحلزون مع التأكيد على التركيب الفريد لجدار الخلية المشعرة الخارجية في الحلزون الغني ببروتين البريستين والذي يميزها عن باقي الخلايا المشعرة.
- يوجد حوالي 23000 خلية مشعرة في المجاري نصف الدائرية و40000 خلية في الماكولا في الأعضاء الأتوليتية.
- لكل خلية مشعرة على سطحها القمي صفوف من الأهداب التي تصطف إلى جانب بعضها البعض وتتميز بهدف أطول منها يسمى الكينوسيليوم Kinocilium.

العصب الدهليزي

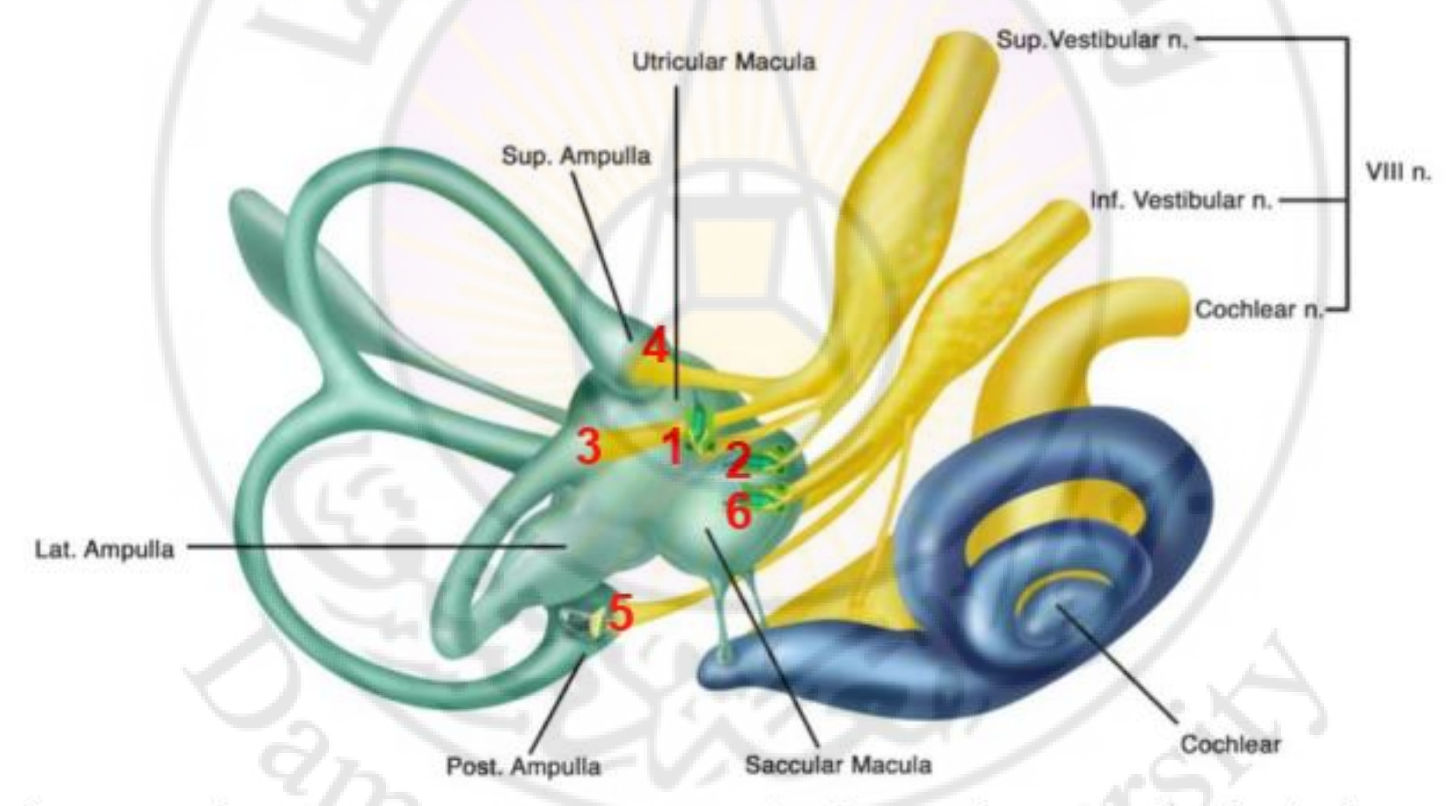
- يحتوي العصب الدهليزي على ثلاثة انواع من الألياف العصبية وهي : الواردة والصادرة والذاتية.
- تمتد الألياف الواردة من جسم الخلايا المشعرة إلى عقدة سكاربا في مجرى السمع الباطن.
- تتنوع أشكال اتصال ألياف العصب مع الخلايا حسب الوظيفة المنوطة بها إلى كأسية، شكل الزر، مختلط.
- يقسم العصب إلى دهليزي علوي ينقل التنبيه من القريبة والقنوات نصف الهلالية العلوية والأفقية. وعصب دهليزي سفلي ينقل التنبيه من الكييس والقناة نصف الهلالية الخلفية.
- تستمر عملية نقل التنبيهات في العصبون الثاني إلى النوى الدهليزية والمخيخ.





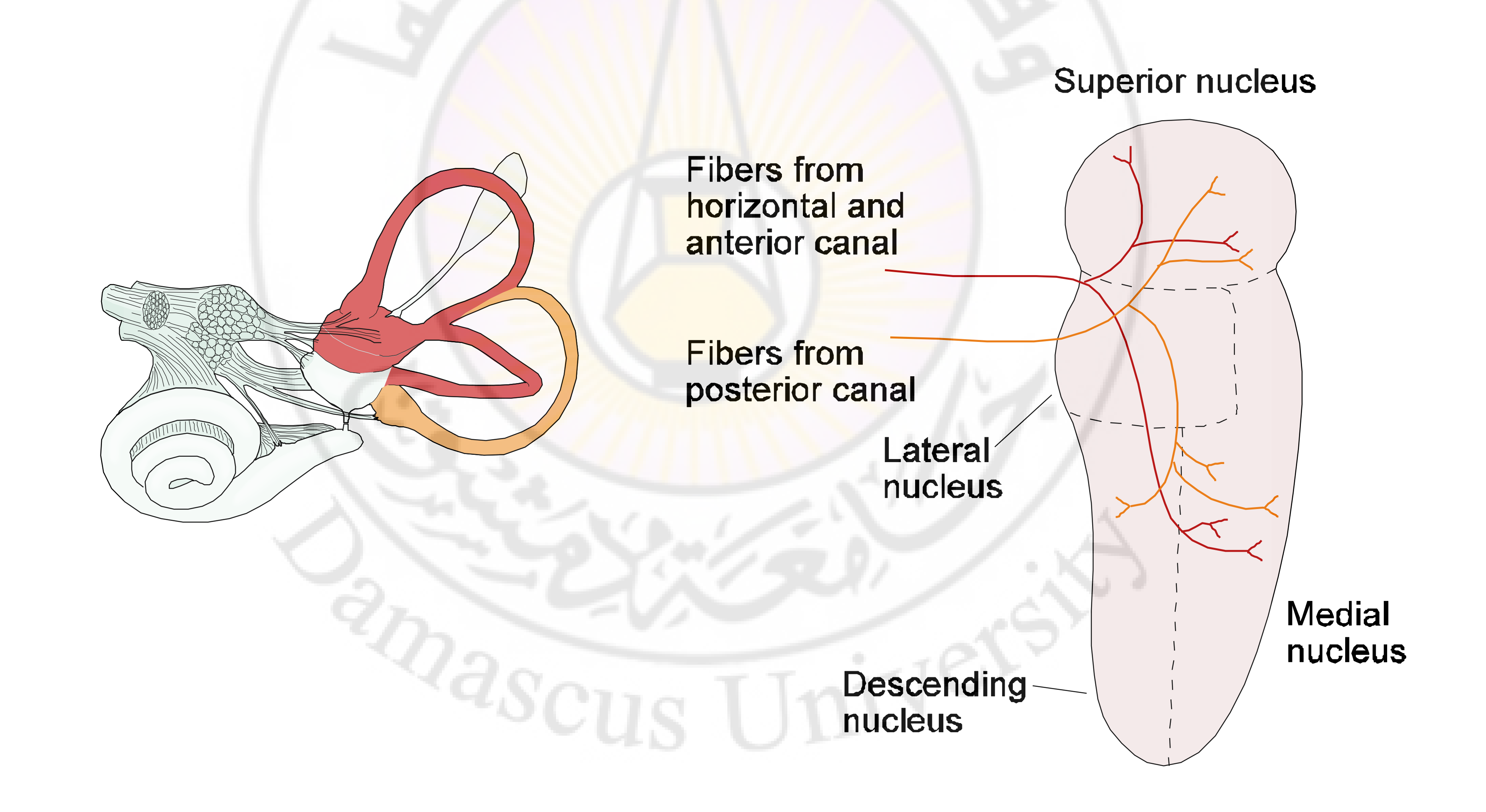
Peripheral axons of the superior division innervate:

Central axons of the superior & inferior vestibular nerve fibers join fibers from the cochlea to form **cranial nerve VIII.**

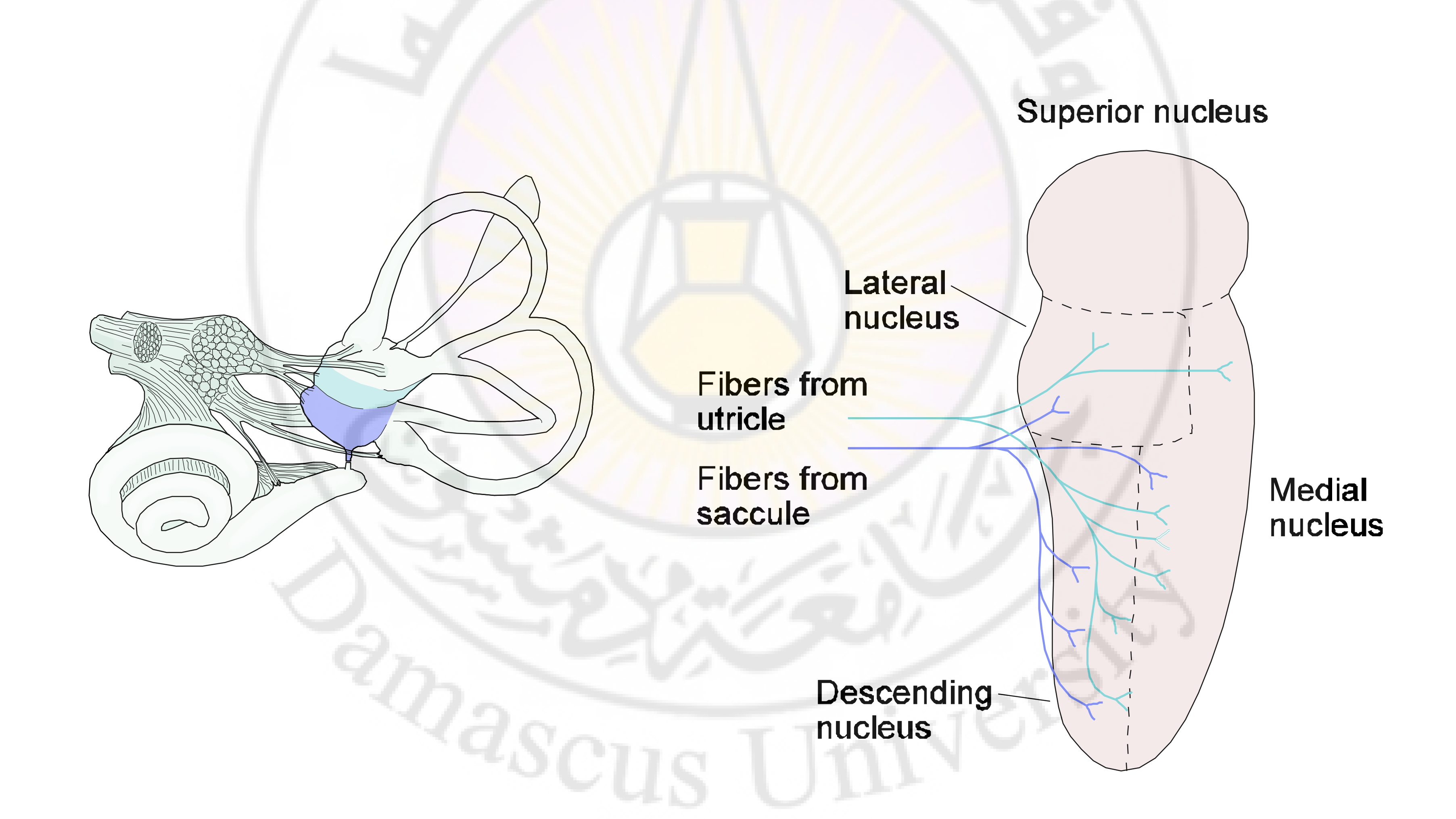


1. Utricular macula
2. Saccular macula (anterior portion)
3. Crista of lateral (horizontal) SCC
4. Crista of superior (anterior) SCC
5. Crista of posterior (inferior) SCC
6. Saccular macula (posterior portion)

Connections to the vestibular nucleus from the canals



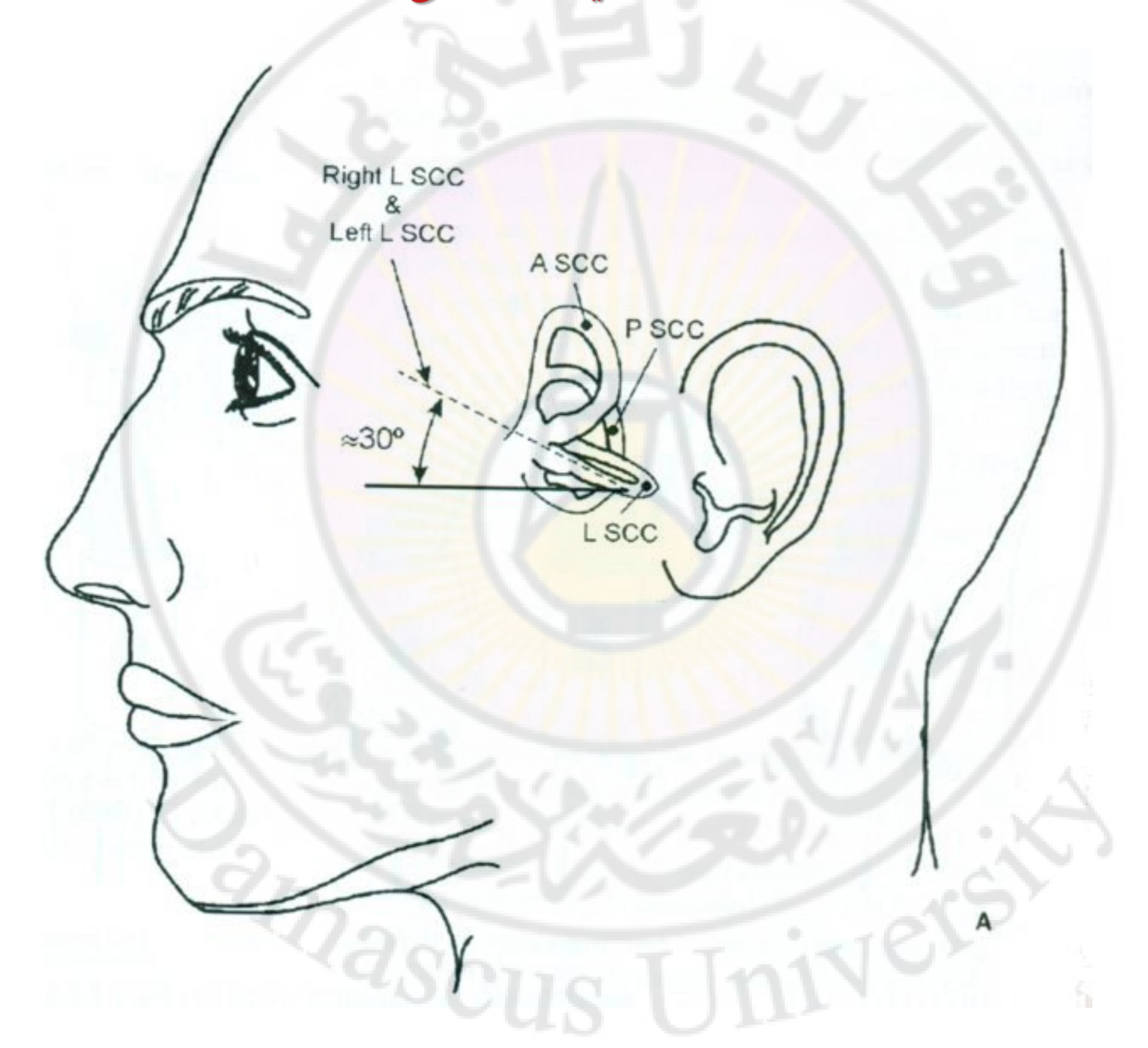
Nuclear Connections of the Otolith Organs



آليات التنبيه الدهليزية

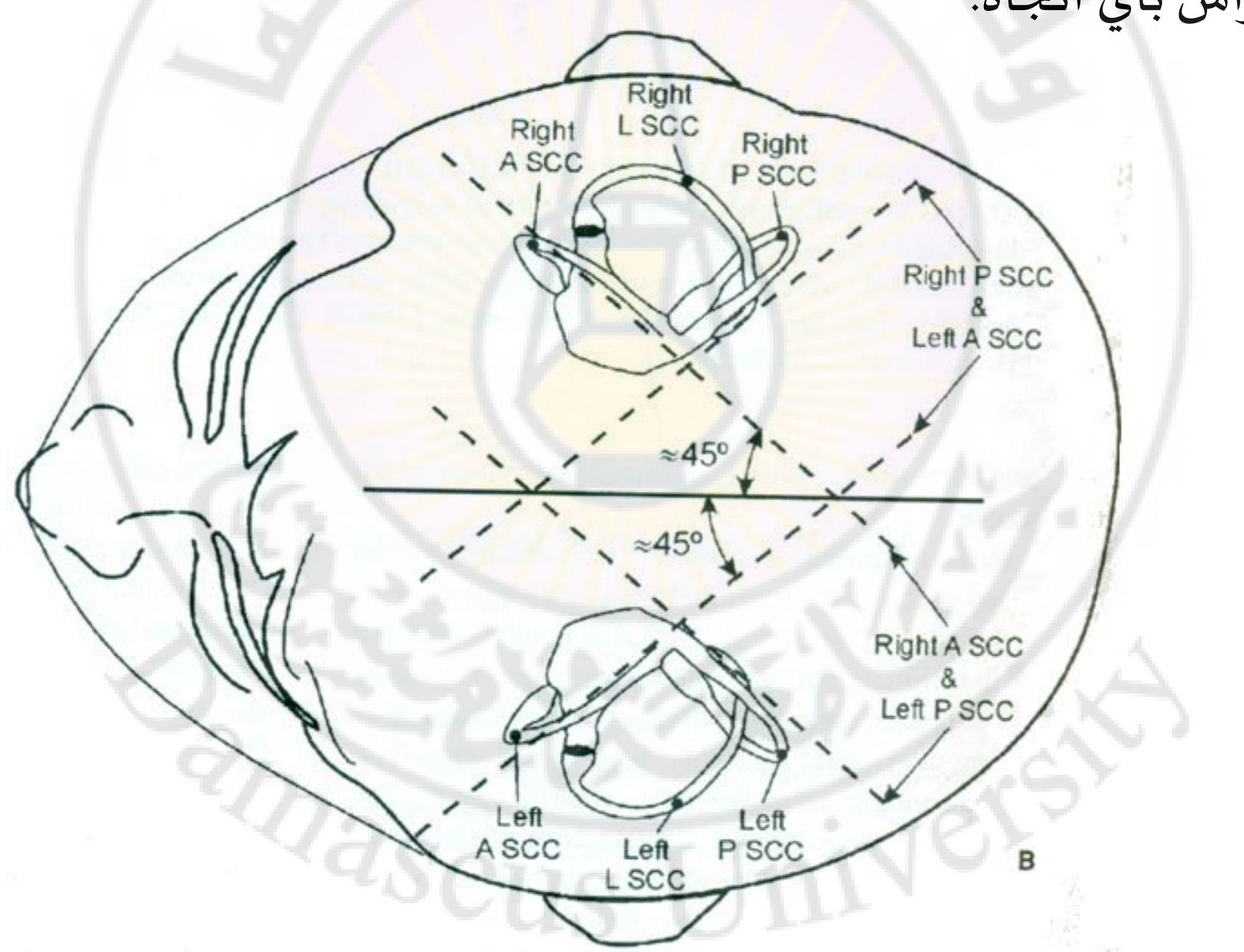
- لقد صممت المستقبلات الحسية في الدهليز بطريقة تمكنها من الاستجابة لكلا التسارعين الخطي Linear والزاوي Angular acceleration.
- في القنوات نصف الدائرية تتم حركة السوائل استجابة للتسارع الزاوي فيحدث تحرك للأهداب في كل زوج من القنوات المتناظرة بالجهتين باتجاه أو بعكس اتجاه القريبة.
- أما في القريبة والكييس فيسبب التسارع الخطي تفعيلا لجزء من المستقبلات الحسية وتثبيطا لتلك المعاكسة بالاتجاه ويحدث التفعيل والتثبيط بشكل معاكس في القريبة للأذن المقابلة.
- أيا كان نوع التسارع والمستقبل الحسي فما يحدث على مستوى الخلايا المشعرة هو انحناء الأهداب بجهة الهدب المركزي مسببة ازدياد بانفتاح القنوات الشاردية وحدوث نزع استقطاب (تفعيل) أما تحرك الأهداب بعكس اتجاه الهدب المركزي فيسبب انغلاق القنوات المفتوحه أصلا لضمان فعالية العصب مسببة فرط استقطاب وتثبيط.
- استمرار تعرض الخلايا المشعرة للتسارع سيسبب حدوث **تعوّد** وهنا يلغى دور الدهليز في تقديم معلومات جديدة ونكتفي بالمعلومات الواردة من الجهاز البصري والحسي لإدراك الحركة.

بنية القنوات نصف الدائرية – توضع القناة الأفقية

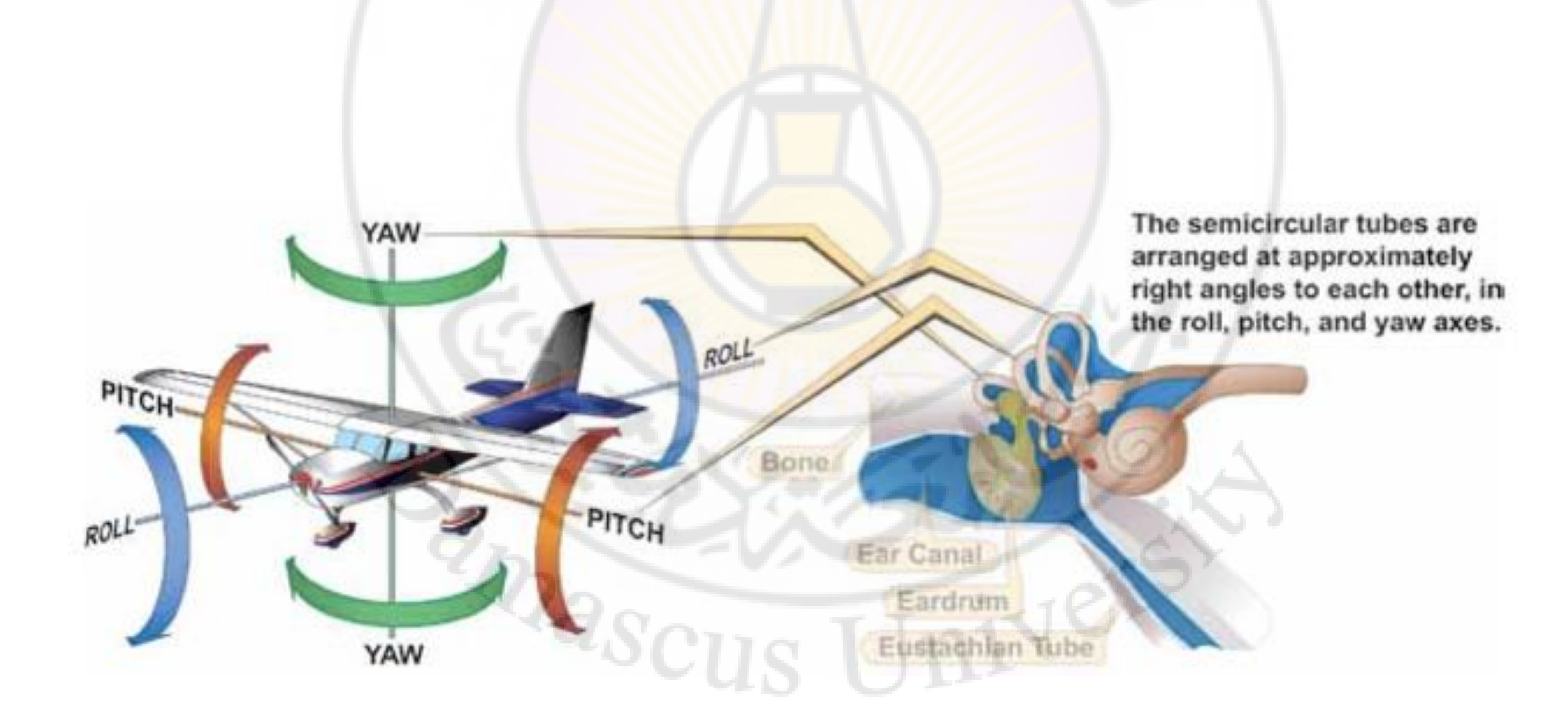


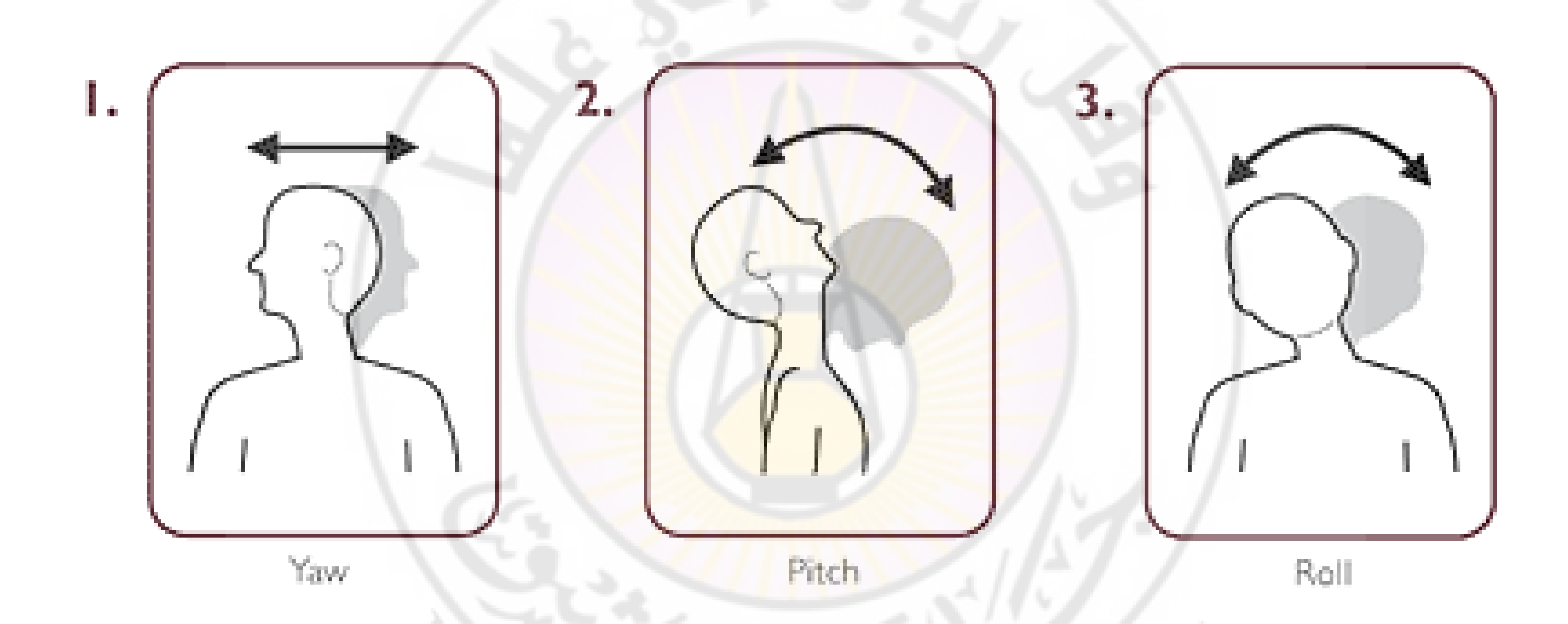
بنية القنوات نصف الدائرية

– توضع القناتين الخلفية والعلوية بشكل متعامد في نفس الاذن وموازي لكل قناة معاكسة في الاذن المقابلة وهذه الوضعية للقناة الست تمكن من كشف أي حركة للرأس بأي اتجاه.



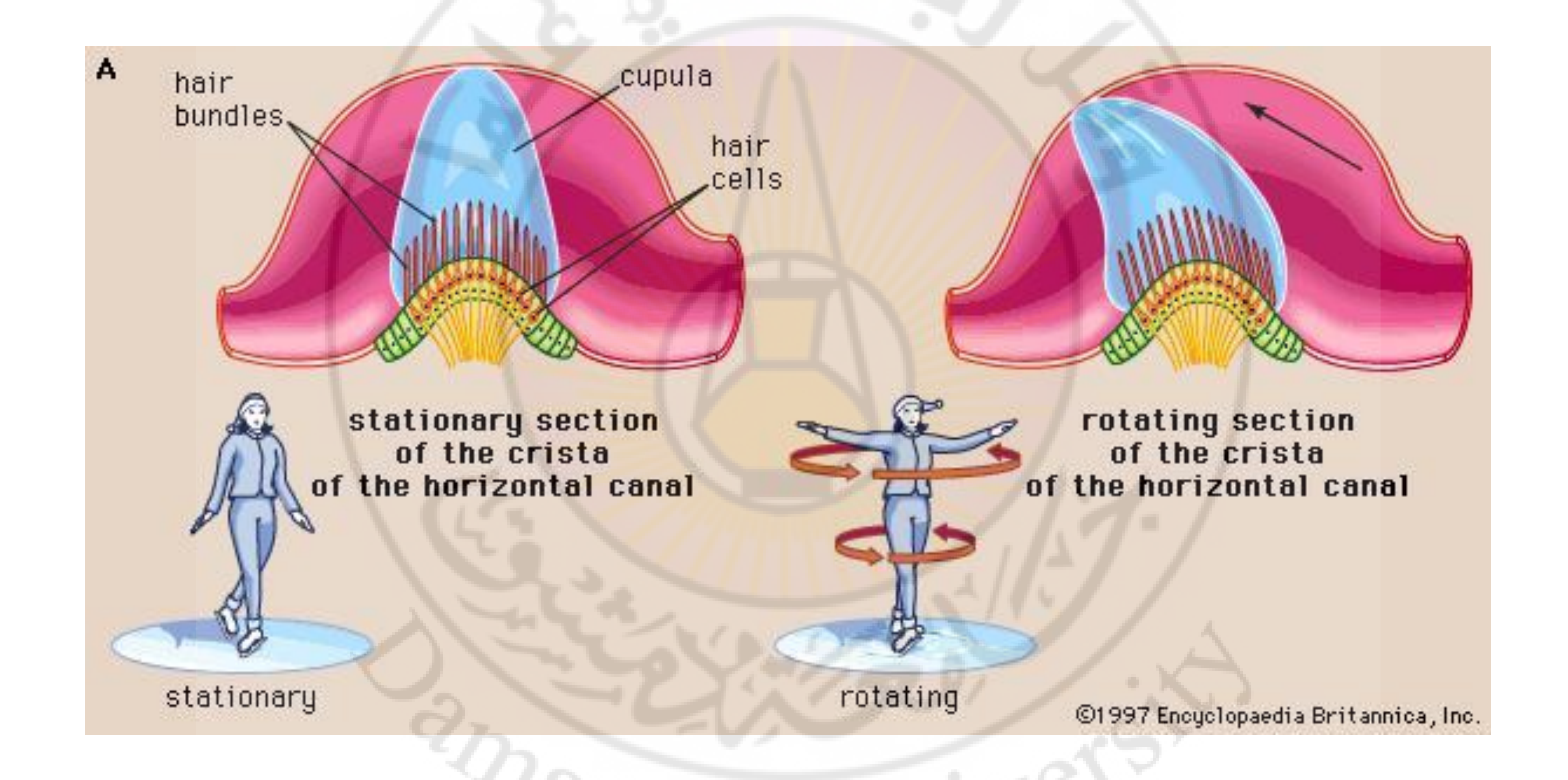
- تستطيع القنوات نصف الدائرية كشف الحركة ضمن المحاور الثلاثة: pitch، yaw ، roll.
- أي حركة دائرية او ذات تسارع زاوي تسبب تفعيل قناتين على الأقل وثلاث قنوات في أغلب الحالات.





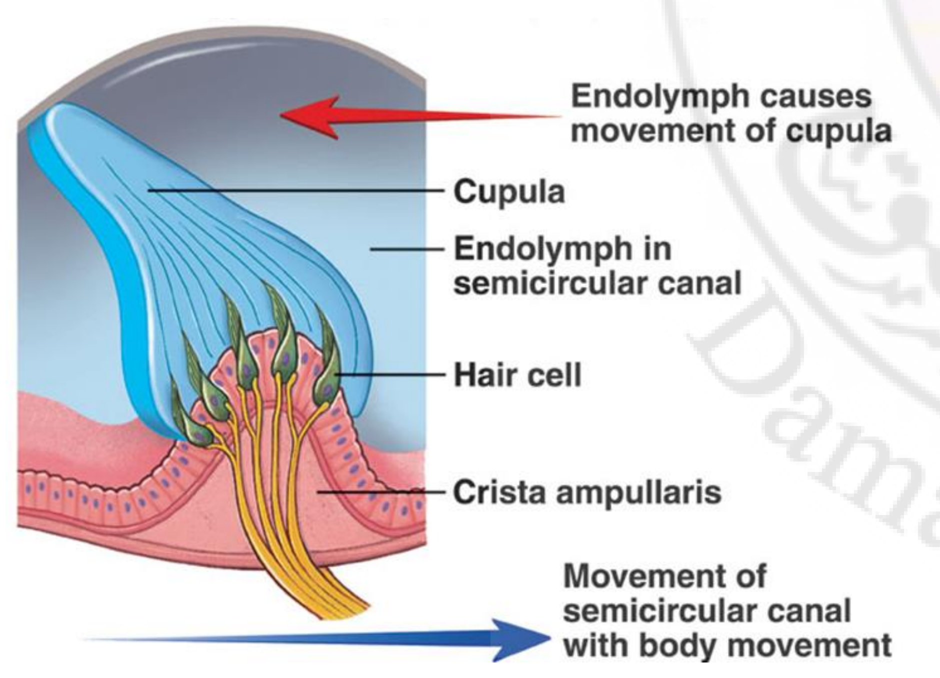
HS-SOT Head Movement Axes

crista: cristae of the semicircular ducts



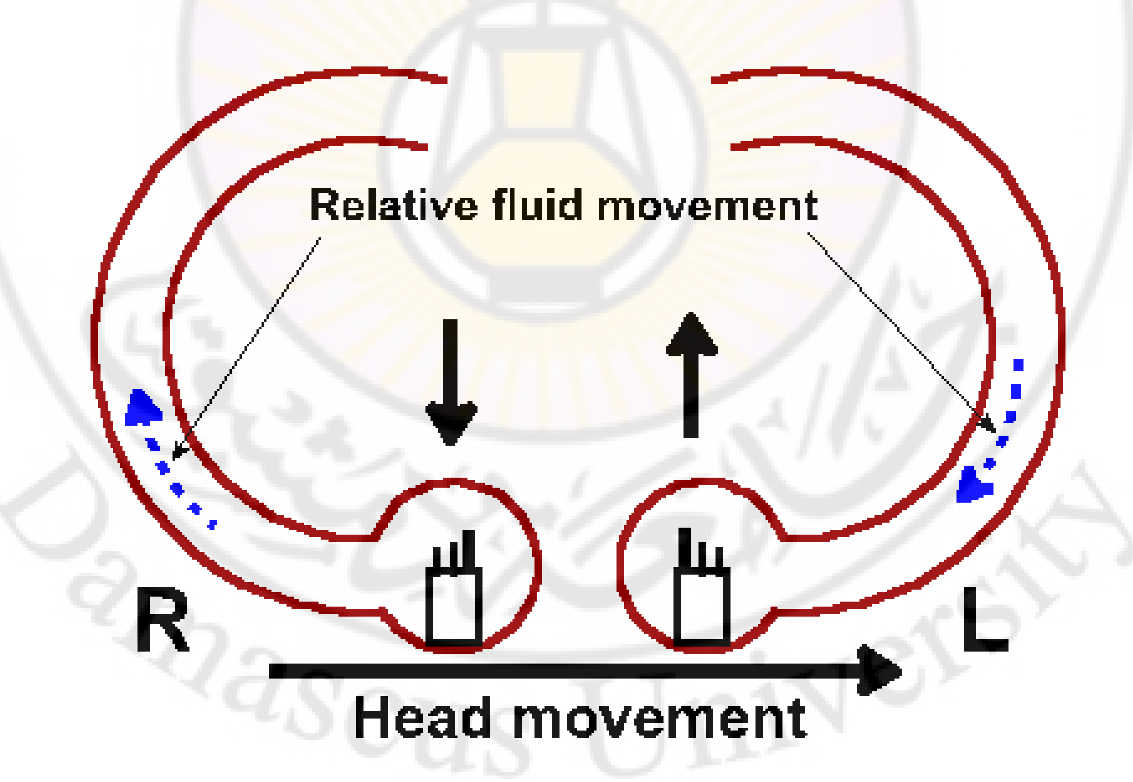
الاقنية نصف الدائرية ودورها في التوازن

- تحتوي كل قناة على سائل لمفي داخلي، وتشكل كل قناة في نهاياتها انتفاخ يسمى المجل الذي ينفتح داخل القريبة.
- يحتوي المجل على عضو حسي هو العرف المجلي وهو وريقة تشبه الصمام حيث توجد في قمة العرف كتلة هلامية تسمى القديح.
- يوجد في العرف المجلي الخلايا المشعرة التي يصدر عنها آلاف الاهداب المتحركة، وان التنبيه الملائم لها هو حركة السائل اللمفي الذي يؤدي أيضا لانحناء القديح، فإذا انحنى القديح نحو القريبة فانه يؤدي لإزالة استقطاب الخلايا المشعرة وبالتالي انطلاق الإشارات العصبية عبر الألياف العصبية الدهليزية، وإذا انحنى القديح نحو القناة فانه يؤدي لفرط استقطاب الخلايا المشعرة حيث لا تنطلق اشارات العصبية.
- يتحرك السائل اللمفي مع حركة دوران الرأس، ففي بدء حركة الدوران تتحرك القناة نصف الدائرية العظمية مع حركة الرأس أما السائل اللمفي فله عطالة لذلك يبقى ساكنا حين البدء بالدوران.
- بالتالي فإن حركة السائل اللمفي تكشف زيادة تسارع حركات الرأس أو نقصانها أو دوران الرأس أو توقفه المفاجئ.
- تقوم الاقنية نصف الدائرية الثلاث بكشف أي خلل بالتوازن أثناء تنفيذ الحركات السريعة، لذلك فهي تحرض مراكز التوازن لان تقوم بالوظائف الوقائية المناسبة.

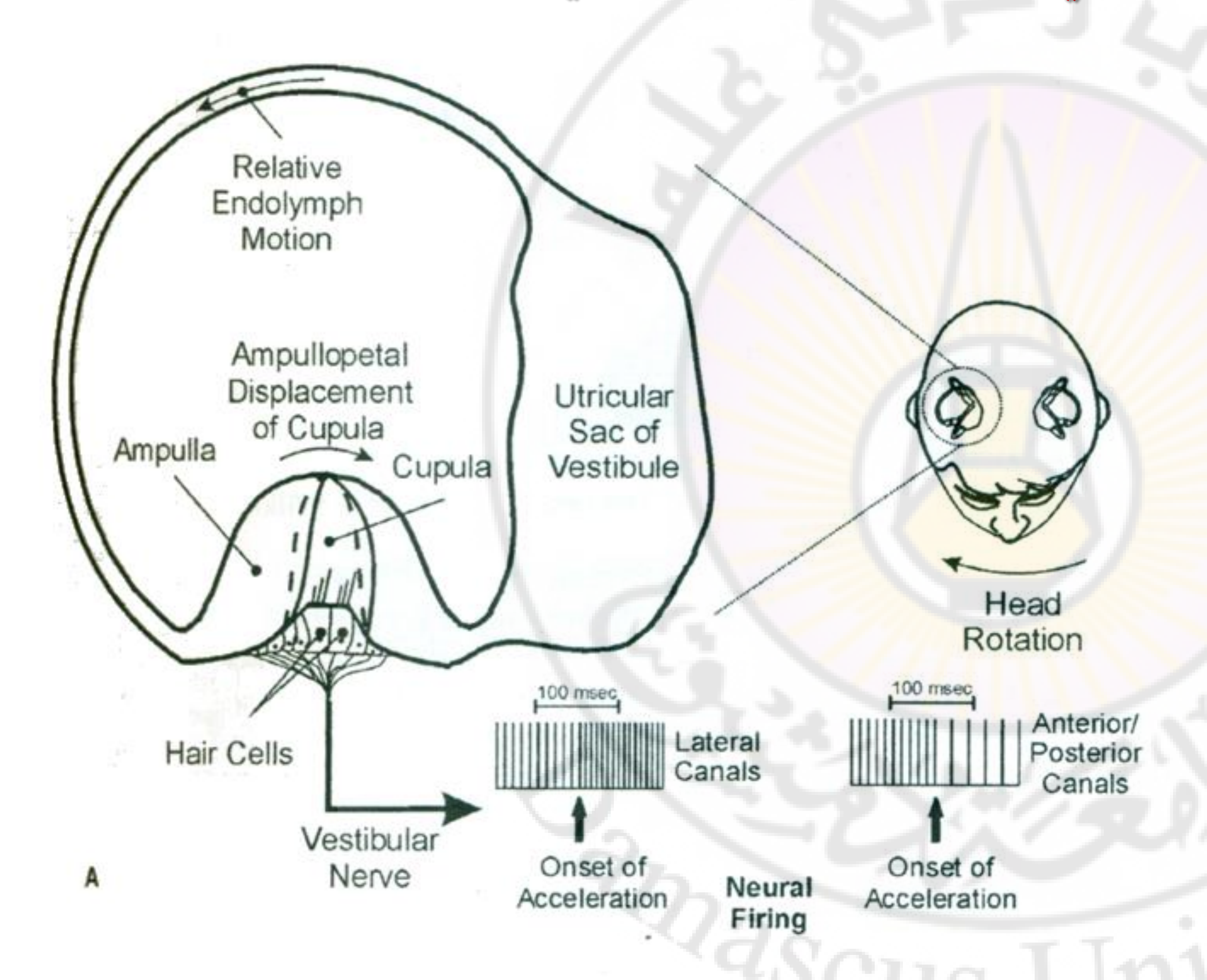


Ampullofugal: Refers to displacement “away” from the ampulla.
Ampullopetal: Refers to displacement “toward” the ampulla.

Ewald's second law: "Ampullopetal endolymphatic flow produces a stronger response than ampullofugal flow in the horizontal canal".
Ewald's third law: "Ampullofugal flow produces a stronger response than ampullpetal flow in the vertical canals (anterior and posterior semicircular canals).

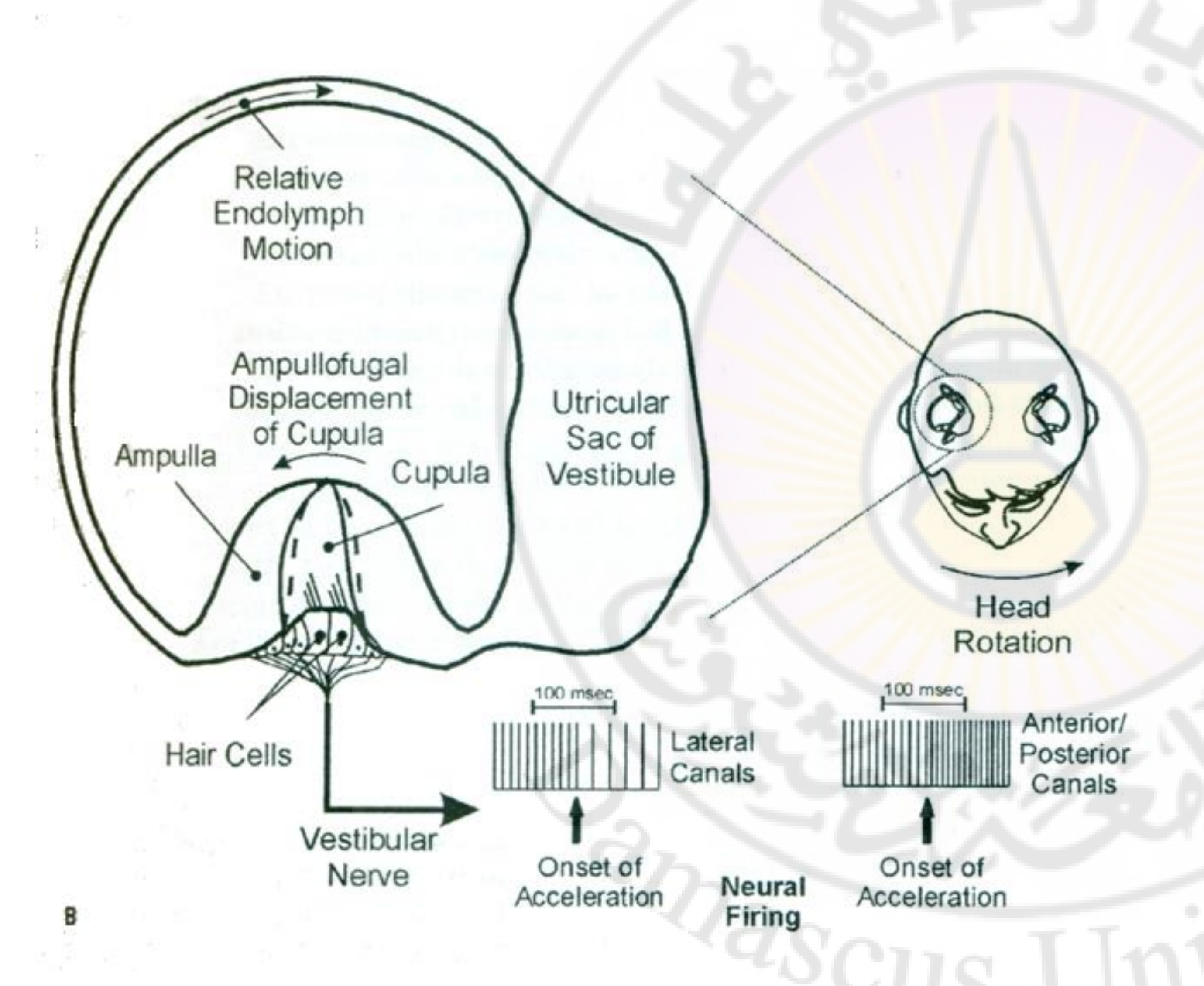


استجابة الخلايا المشعرة في القنوات نصف الدائرية لدوران الرأس



- يكون اللمف الباطن متناظر القوة على جانبي الكوبولا في وقت الراحة.
- عند تدوير الرأس بشكل فجائي يحدث حركة باللمف الباطن تسبب بتحريك الأهداب في الخلايا المشعرة لتسبب تنبيه في قناة وتثبيط في القنوات الأخرى.

الاطلاق العصبي الناتج عند الدوران الفجائي للرأس

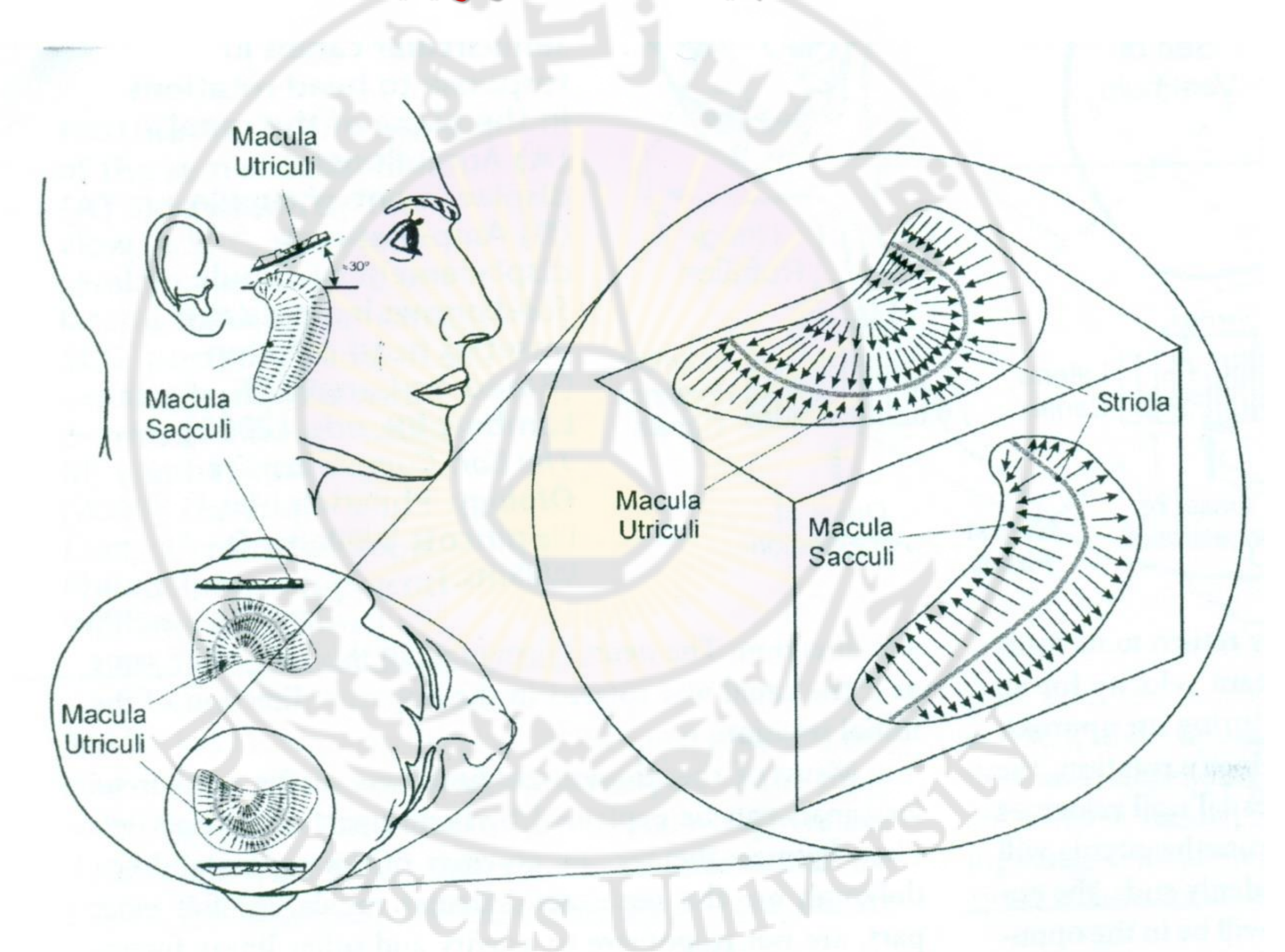


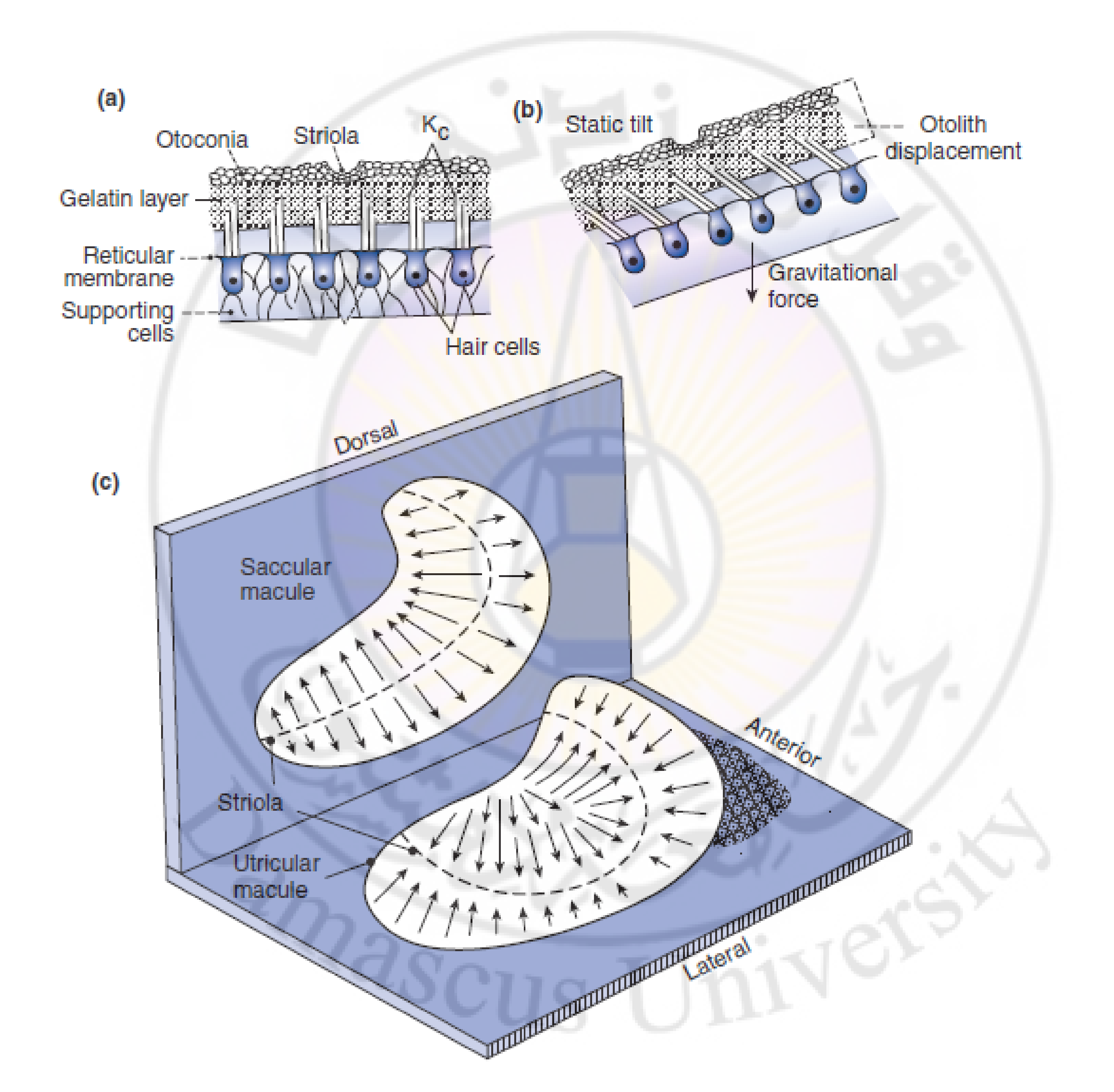
-المجاري نصف الدائرية حساسة للتسارع الزاوي.

-لا تستجيب للجاذبية والتسارع الخطي.

-تمتاز بمجال تنبيهي (تفعيل) واسع جدا مقارنة بالتثبيط.

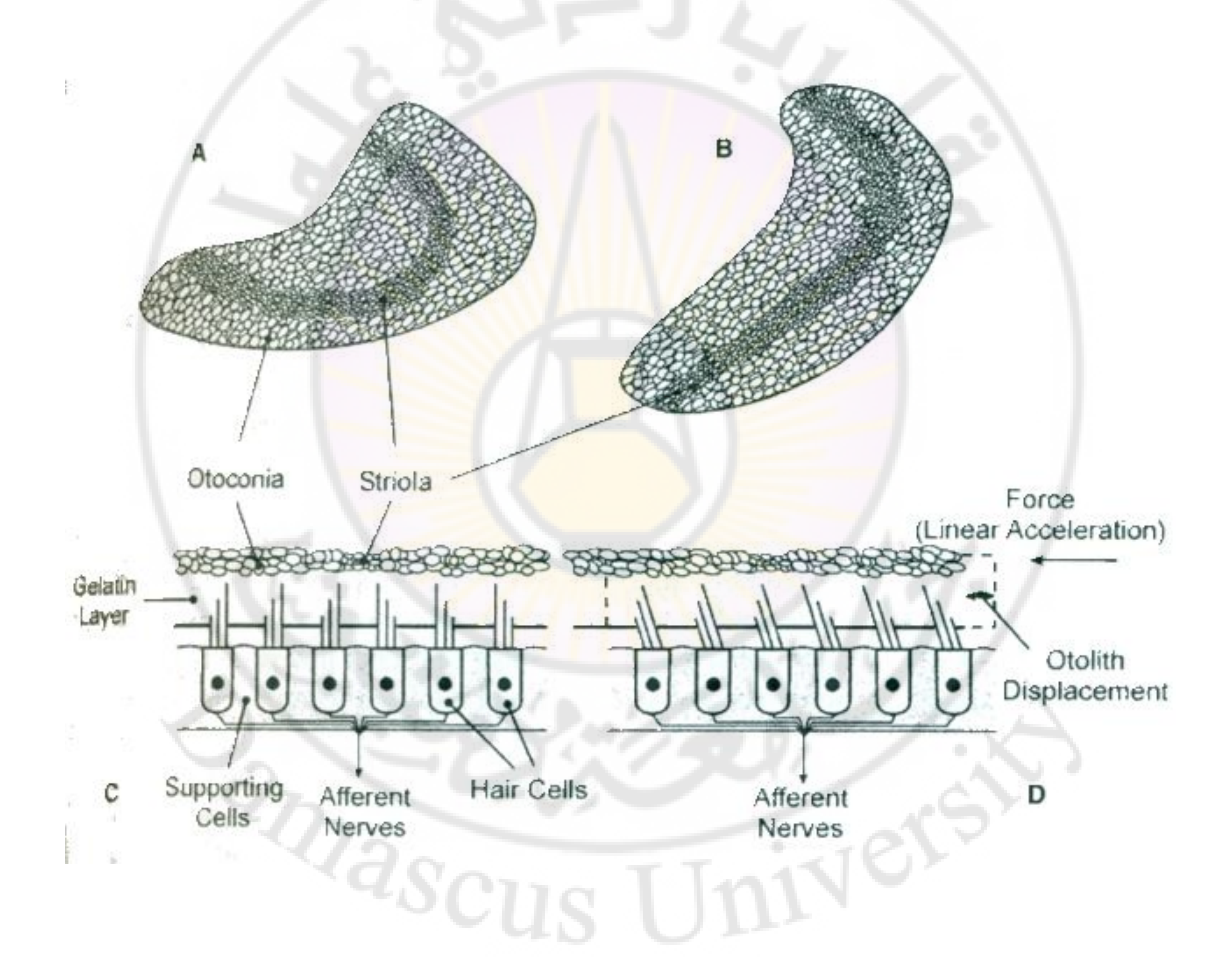
بنية الأعضاء الأوتوليتية





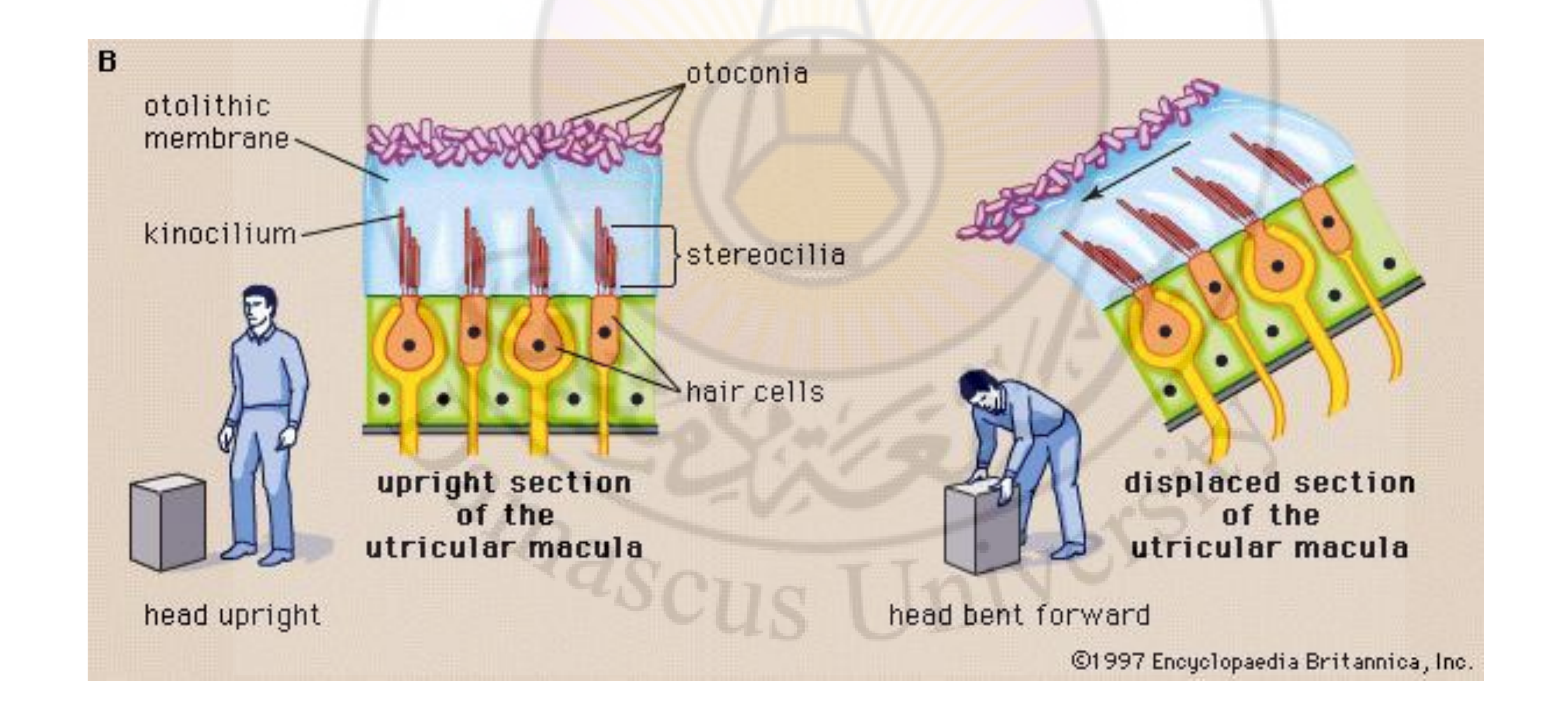
(a)
Otoconia
Striola
Kc
Gelatin layer
Reticular membrane
Supporting cells
Hair cells
(b)
Static tilt
Otolith displacement
Gravitational force
(c)
Dorsal
Saccular macule
Striola
Utricular macule
Anterior
Lateral

آلية التنبيه العصبي في الأعضاء الاتولوتية



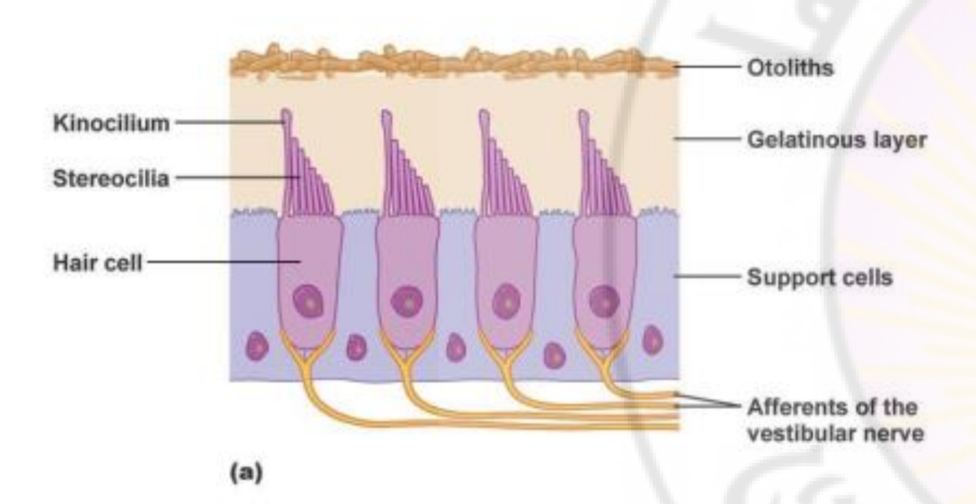
Macula utriculi

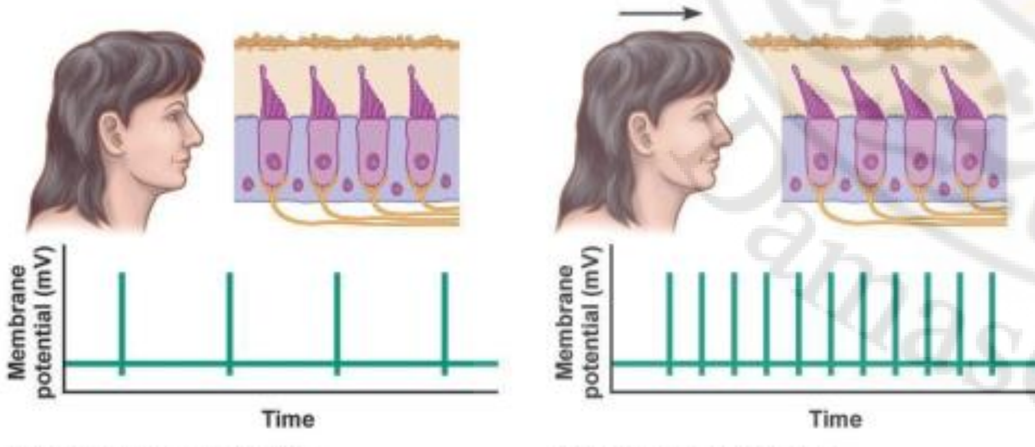
- تقع لطخة القريبة في أرض القريبة وتشكل مساحتها حوالي 2- ملم وتتوضع بشكل أفقي.
- تستجيب اللطخة في القريبة للجاذبية والتسارع الخطي الأفقي ويعتمد التنبيه على تحرك الغشاء الاتوليتي مما يسبب انزياح الأهداب مسببة تفعيل او تثبيط الخلايا المشعرة حسب جهة الحركة.

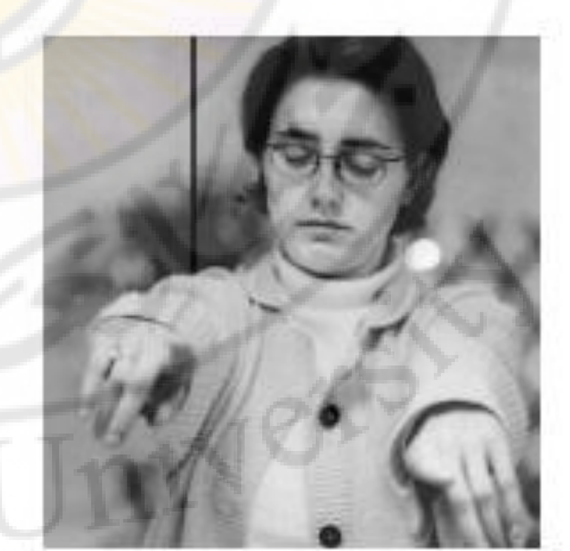


- تساهم الأعضاء الأتوليتية في العديد من العمليات الأساسية:
  - احساس التسارع الخطي وتبدل الوضعة نسبة للجاذبية.
  - الحركات المعاوضة للعينين (للأهداف القريبة) و أيضا لحركة الرأس والجسم.
  - إدراك خط عمودي ذهني يساعد في تحديد جهة وشكل مسار الحركة.

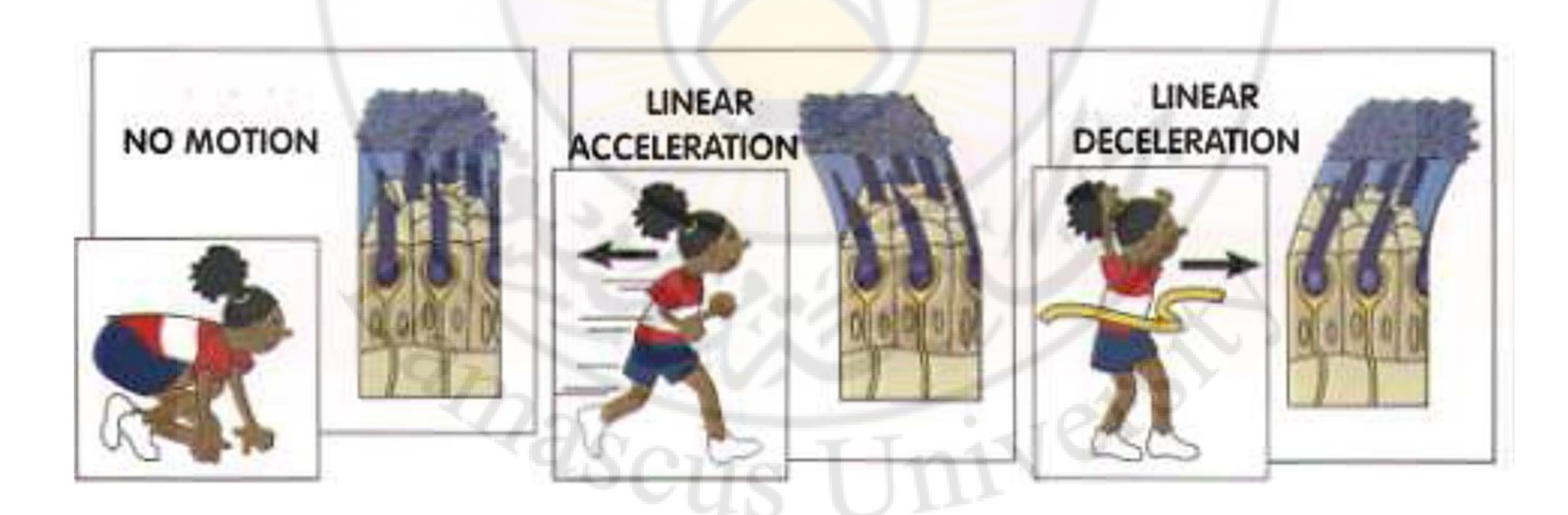
Linear acceleration



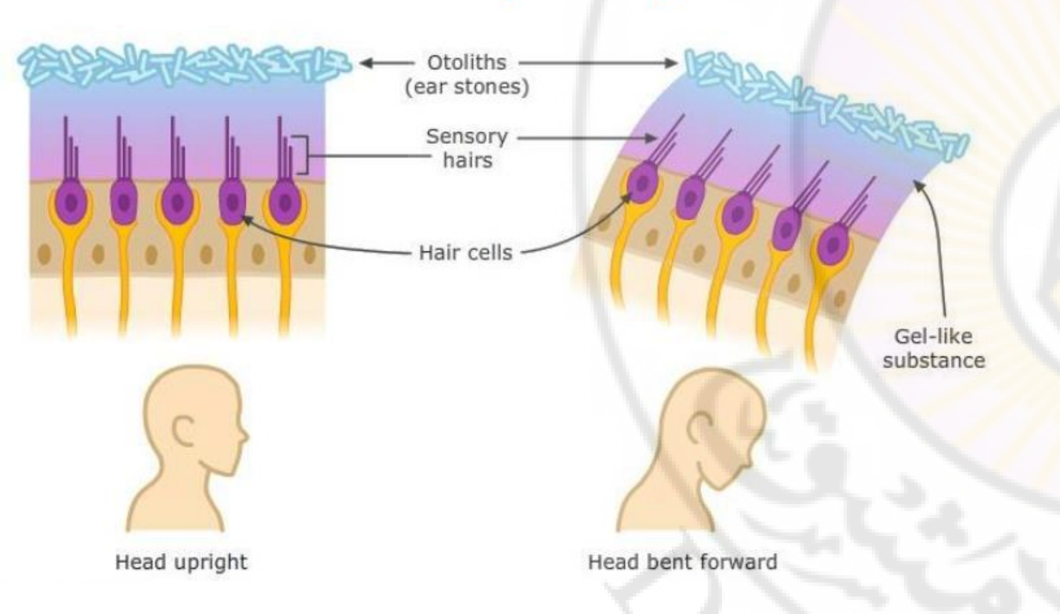




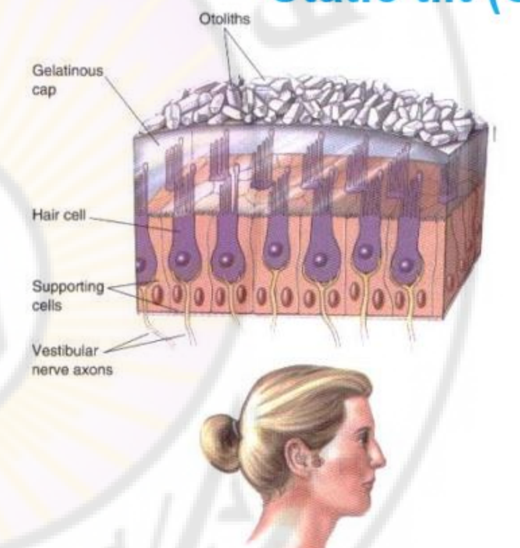
يسبب اندفاع المتسابق بالجري نحو الإمام لحركة الاهداب والرمال الاذنية نحو الخلف وذلك بفعل العطالة فيولد لدى الشخص الشعور بالسقوط نحو الخلف لذلك يميل بجسمه اراديا نحو الإمام والعكس صحيح، وحينما يتوقف فجأة تنقل النهايات الحسية للعصب الدهليزي الإشارات بشكل مستمر حتى في حالة الراحة (أي حتى في حالة عدم حني الاهداب التالية للخلايا المشعرة). وتؤدي كل حركة للرأس لاطلاق اشارات عصبية، فيسبب حني الرأس للأمام تحريض بعض الاهداب الخاصة بتلك الحركة، وكذلك تتحرض بعض الاهداب الأخرى حينما ينحني الرأس للخلف أو للجانبين. تقوم القريبة والكييس بتحريض العضلات المسؤولة عن المحافظة على التوازن وذلك بمشاركة المخيخ والتكوين الشبكي

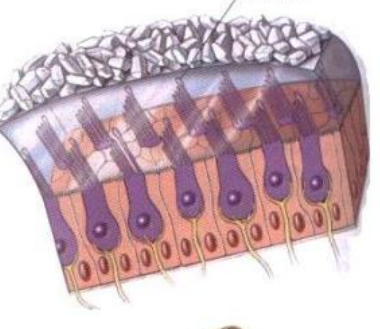


Static tilt (Utricle)



Static tilt (Utricle)

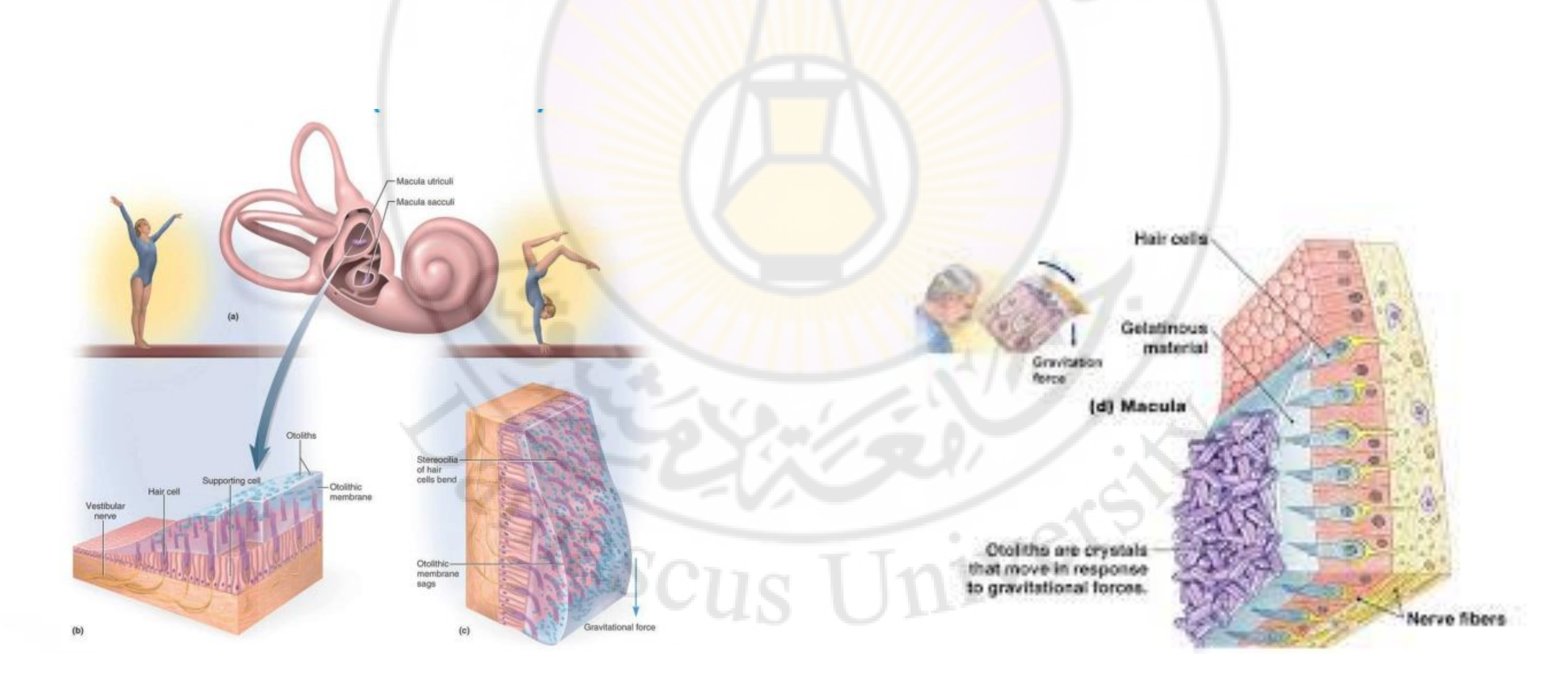






Macula Sacculi

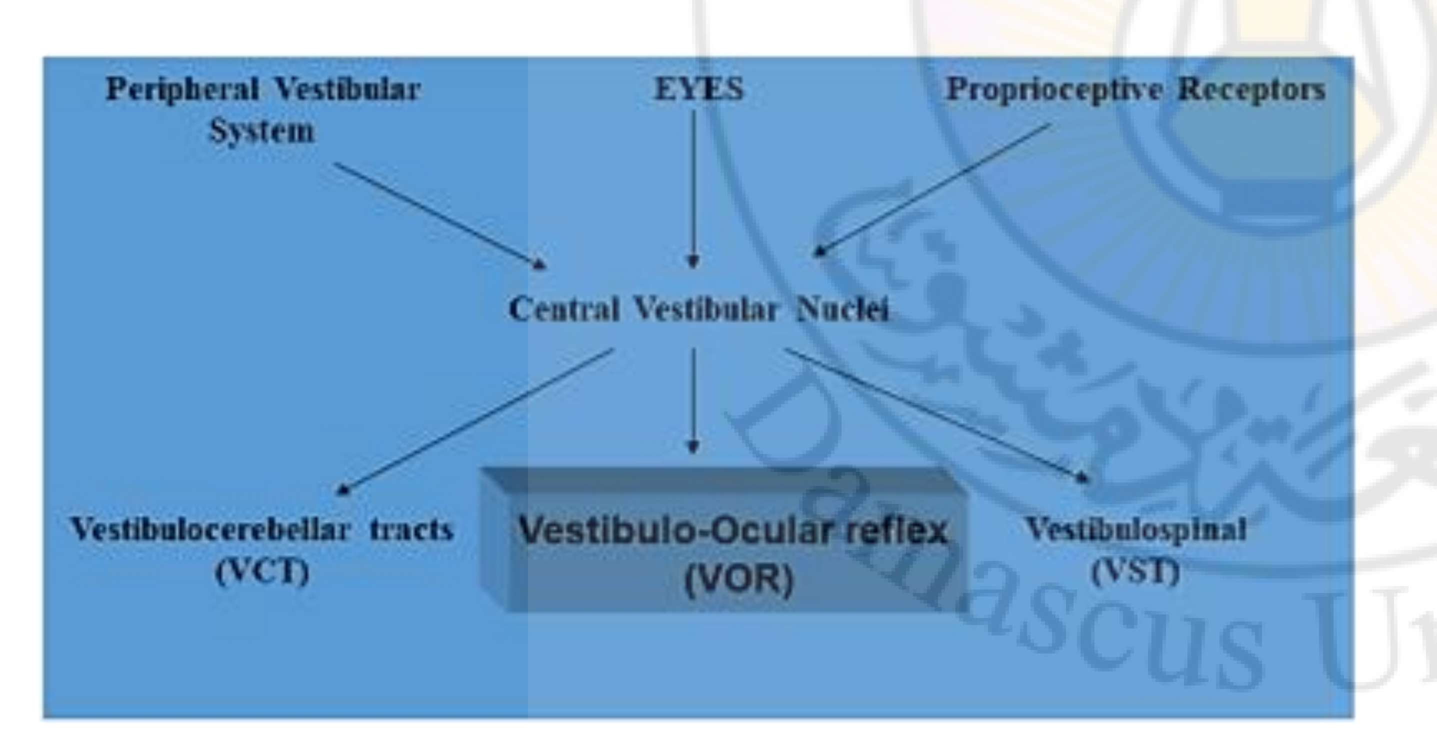
- تتوضع لطخة الكييس بشكل عمودي وتمتد على مساحة 2-3 ملم على جدار الكييس.
- تختص لطخة الكييس بالاستجابة للتسارع الخطي العمودي.



المنعكسات الدهليزية

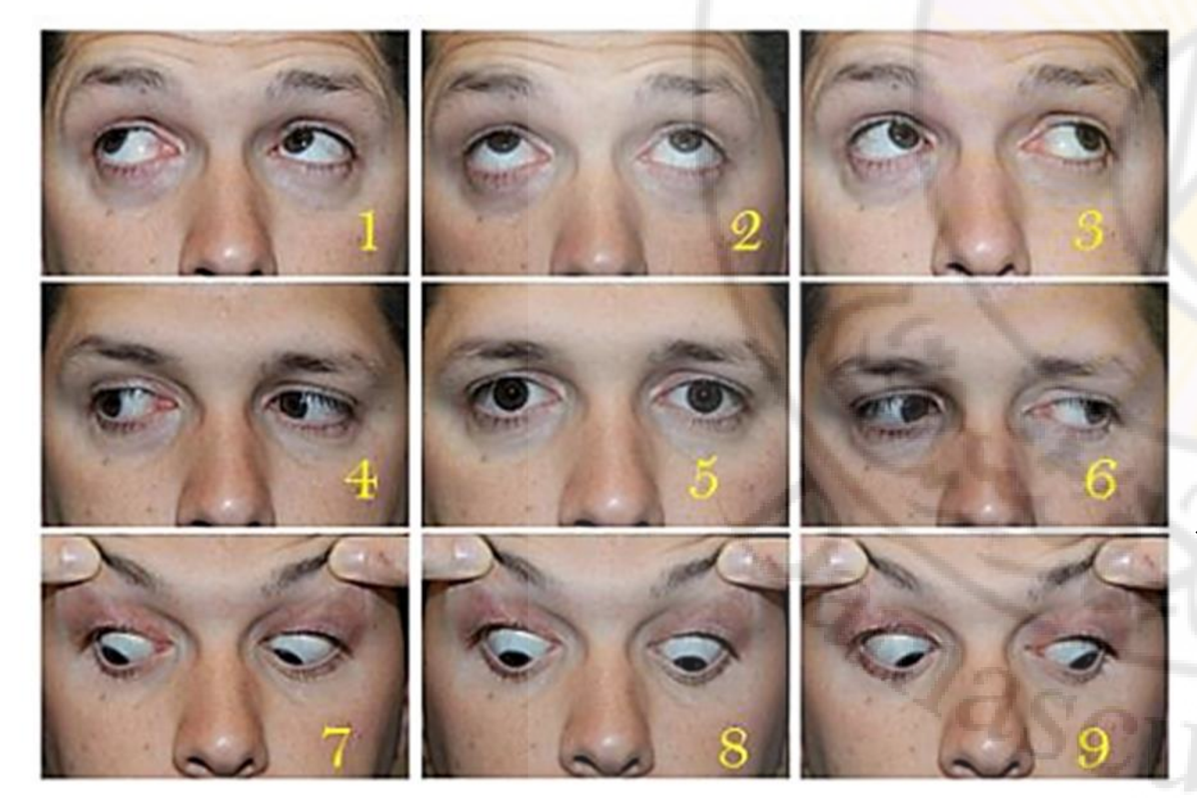
- المنعكس الدهليزي العيني Vestibuo-ocular reflex (VOR)
- المنعكس الدهليزي الشوكي Vestibulo-spinal reflex (VSR)
- السبل الدهليزية المخيخية Vestibulo-cerebellar tracts (VCT)

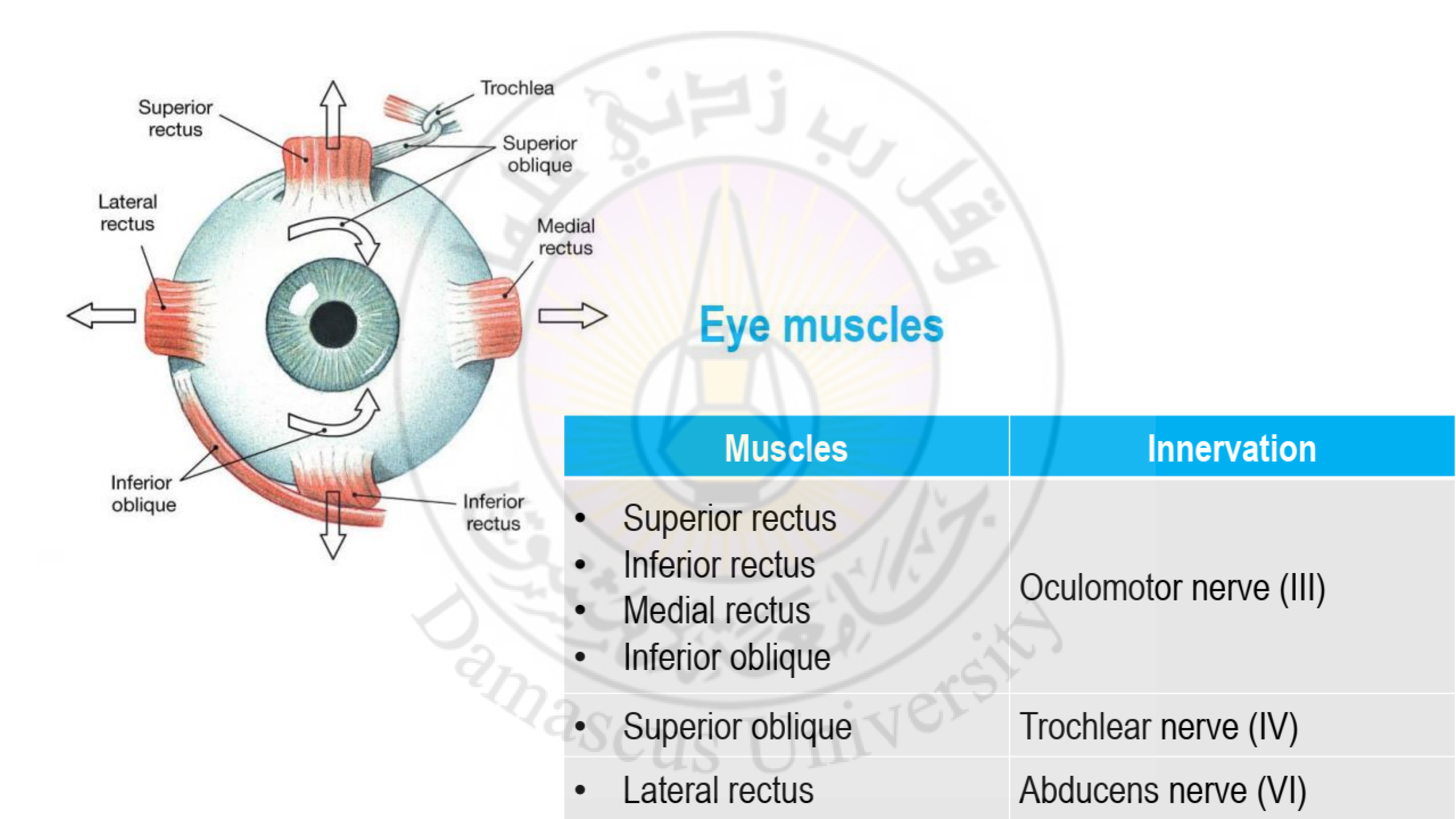
Information Relay



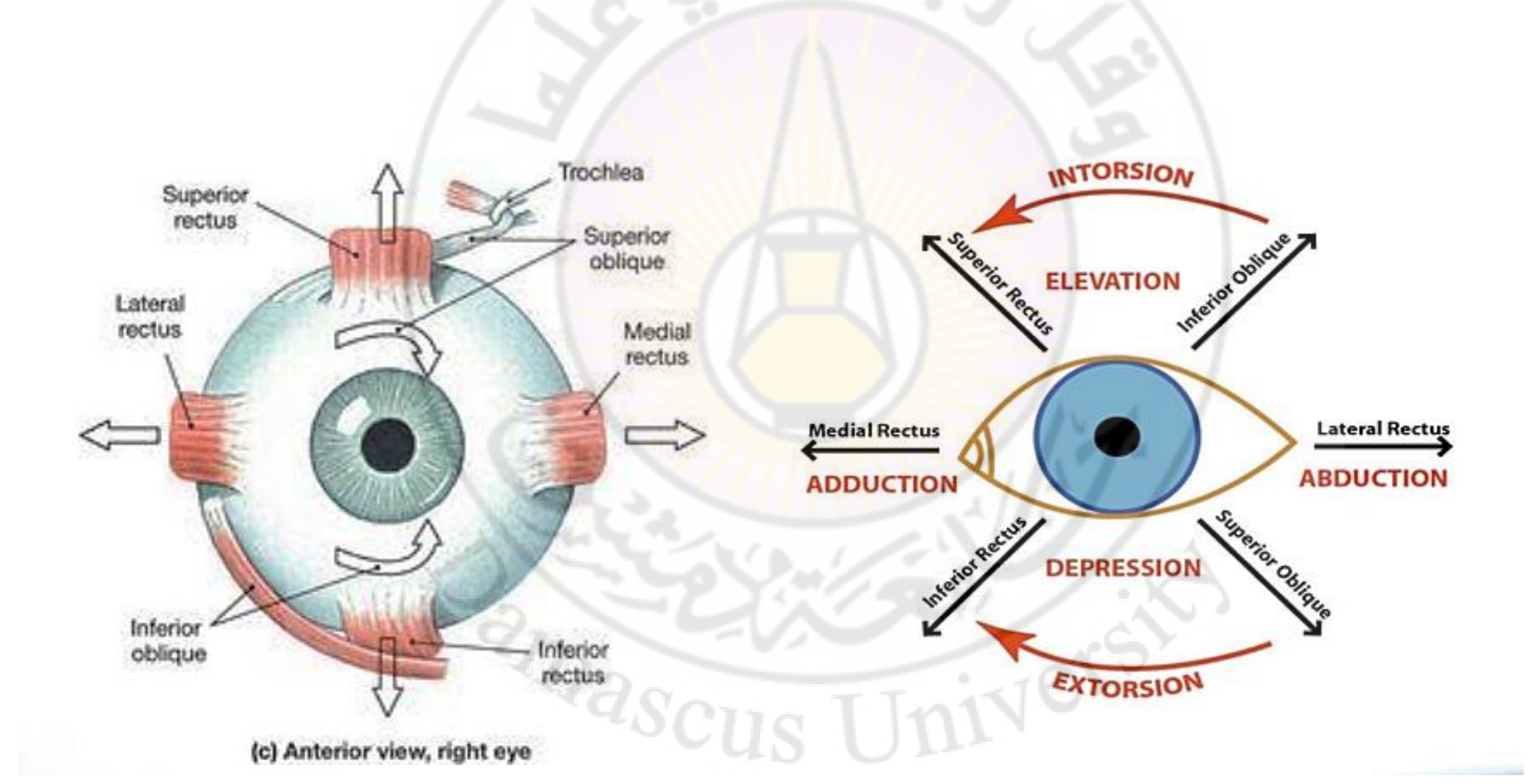
المنعكس الدهليزي العيني VOR

- تصدر المعلومات من النويات الدهليزية إلى المراكز الدماغية على شكل عدم تناظر بالاطلاق العصبي يفسر التغييرات بالتسارع الزاوي والخطي.
- إن عدم التناظر Asymmetry الناتج من فعالية القنوات نصف الدائرية يتم تعويضه بحركات جبرانية من العضلات العينية عبر المنعكس الدهليزي العيني VOR بهدف معاكسة الحركة التسارعية وتثبيت النظر على الجسم المرئي.
- الهدف الأساسي من المنعكس الدهليزي العيني هو حفظ ال GAZE أو التحديق بهدف مرئي معين مهما تغيرت وضعية الرأس من خلال حركات العينين الرئيسة (الدوران الداخلي والخارجي ورفع العينين وخفضهما).
- تدريب عملي مع الطلاب لاطلاعهم على المنعكس أثناء الصف.



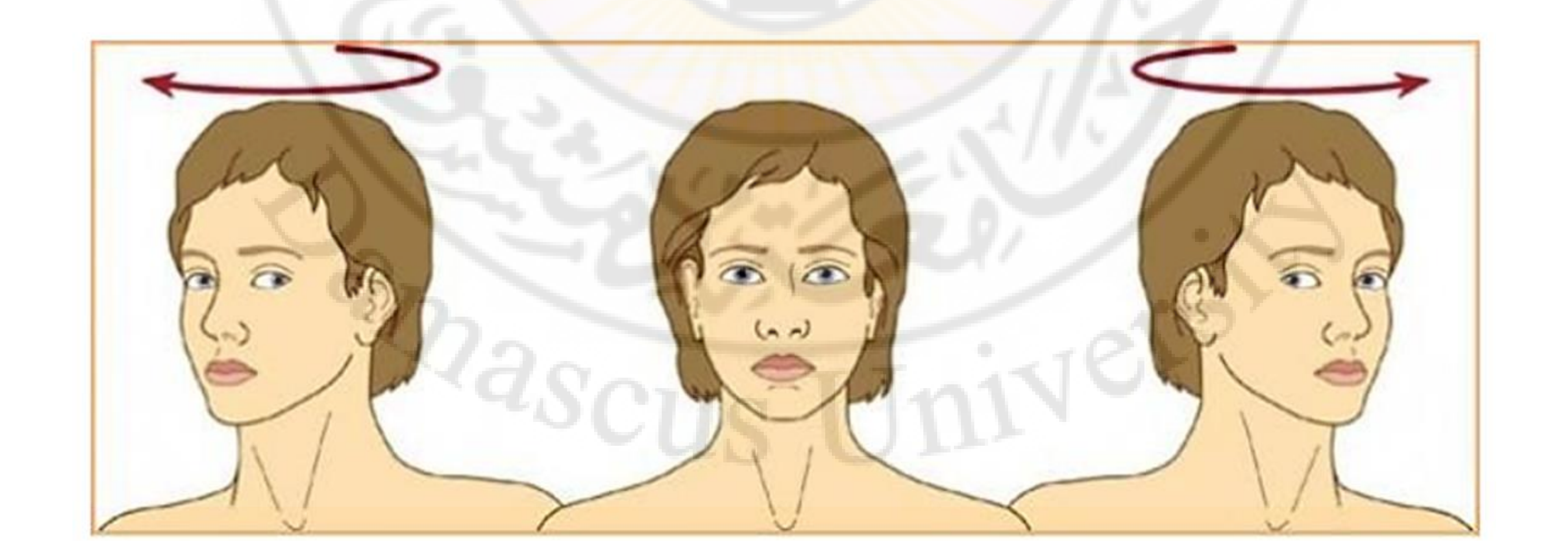

Trochlea
Superior rectus
Superior oblique
Lateral rectus
Medial rectus
Inferior oblique
Inferior rectus
Eye muscles
Muscles
Innervation
Superior rectus
Inferior rectus
Medial rectus
Inferior oblique
Oculomotor nerve (III)
Superior oblique
Trochlear nerve (IV)
Lateral rectus
Abducens nerve (VI)

Eye movement



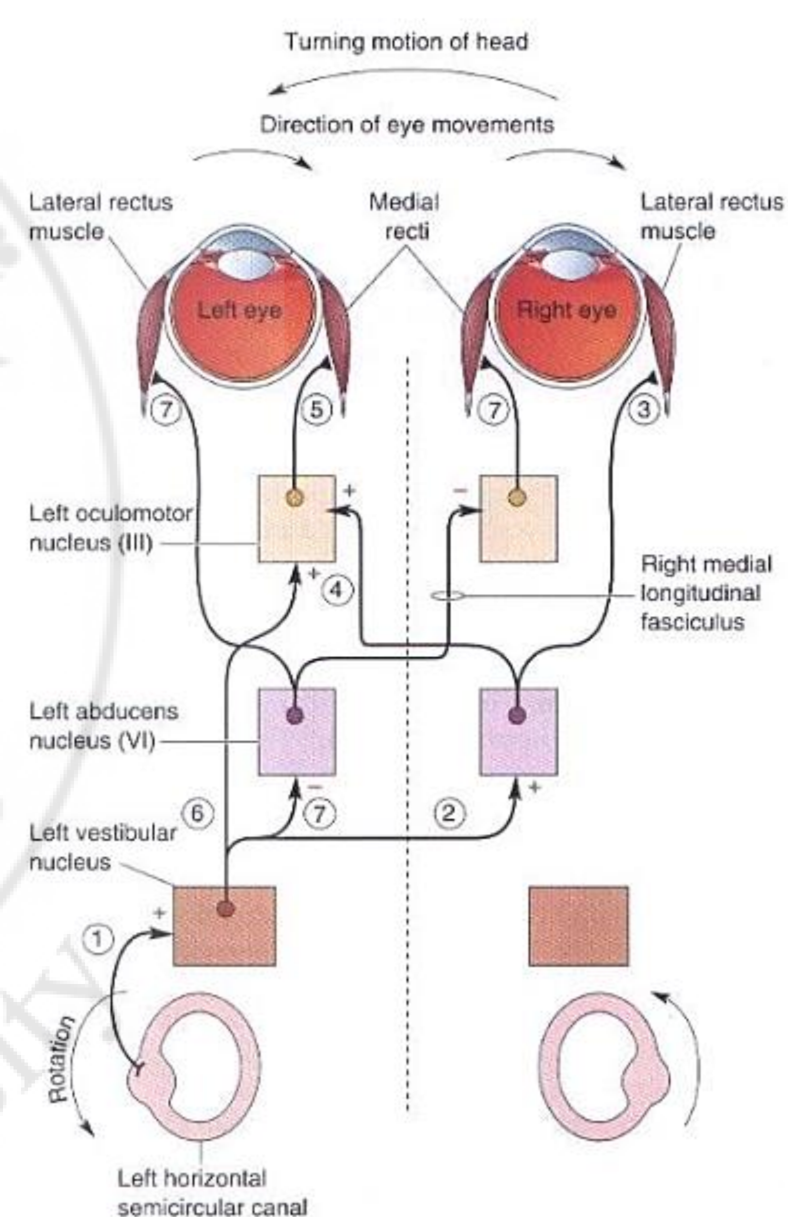
التحديق Gaze

- هي العملية التي تهدف إلى حفظ خيال الجسم المرئي على اللطخة الصفراء في الشبكية من خلال المعلومات الواردة من كلا الدهليزين (النويات الدهليزية) إلى العصبونات المحركة لعضلات العينين بشكل يتناسب مع حركة الرأس (معاكس لها عادة) بحيث يكون الهدف الأساسي هو الحفاظ على الرؤية الواضحة أثناء الحركة لهدف معين ضمن مايسمى منعكس ال VOR.



Vestibulo-ocular reflex (VOR)

VI
III
Abducens
Oculomotor
Start acceleration
CW ACC
Start acceleration



المنعكس الدهليزي الشوكي VSR

- هو المنعكس الذي يساهم بالحفاظ على الوضعة Posture في المواقف المختلفة وفي الحركة والسكون وذلك من خلال معالجة المعلومات الواردة من النوى الدهليزية فيما يخص وضعية الجسد والتي ترسل إلى العصبونات المحركة الشوكية لتتحكم بوضعية عضلات الجذع والأطراف.
- الآلية الأساسية لحفظ الوضعة هي انعكاسية من خلال هذا المنعكس والتي تتطلب سرعة كبيرة في بعض المواقف لا تسمح بتدخل قشري (لما يتطلبه من زمن معالجة أطول – رغم أنه يتم إرسال نسخة معلومات من أي فعل ورد فعل دهليزي شوكي إلى القشر).
- يقتصر تدخل القشر على بعض المواقف الحرجة التي تتطلب المزيد من الأوامر الحركية وتكون إرادية غالبا ومدعومة بالوارد البصري أحيانا أخرى لحفظ وضعية الجسم وإنجاز الحركات المطلوبة باتقان.
- مثال نحن نحافظ على وضعيتنا أثناء المسير بدون تدخل القشر وتكون الحركة انعكاسية تماما ولا تشغل حيز التفكير والوعي في حين عند الانزلاق يحدث المنعكس الدهليزي الشوكي بسرعة لحفظ الوضعية اما اذا خرج الأمر عن السيطرة يحدث تدخل قشري ويصدر أوامر بالمزيد من الحركات الاحترازية لحفظ الوضعية.

دور المخيخ Cerebellum

- إن الدور الرئيسي للمخيخ في عملية التوازن هو التكيف Adaptation.
- تتم هذه العملية من خلال إجراء تعديلات بشكل مستمر علي المنعكسات الناجمة عن السبل الدهليزية لتحسين الأداء في ظروف مختلفة وتكون هذه التعديلات ناتجة عن التجربة.
- مثال على ذلك: تطور الحركة عند الطفل من الوقوف بالمساعدة والسقوط ومن ثم الوقوف بالاستناد على الأساس ثم الوقوف بشكل مستقل لفترة قصيرة ثم السقوط وبعد ذلك يتمكن من الوقوف وما إن يبدا بالحركة يخطو خطوة فيسقط وبالتدريج يتقن المشي لخطوات محدودة وبعدها المشي السريع ومع التطور المشي بالظروف المختلفة.
- إن التعديلات التي تدخل على المنعكسات الدهليزية الشوكية والعينية والتي تضمن هذا التطور وتحسين الحركة ما كانت لتتم لولا عمليات التكيف التي يتبناها المخيخ.
- الدور الآخر للتكيف يتمثل بالمعاوضة عن النقص او الضعف الحاصل نتيجة أذيات دهليزية معينة كالضعف الدهليزي وحيد الجانب او ثنائي الجانب والتي تعالج بالتمارين الدهليزية التي تضمن التعويض عن هذا الضعف.
- ينتج التكيف عن التنبيه المتكرر للنظام مما يحفز حدوث ميكانيزمات تكيفية.

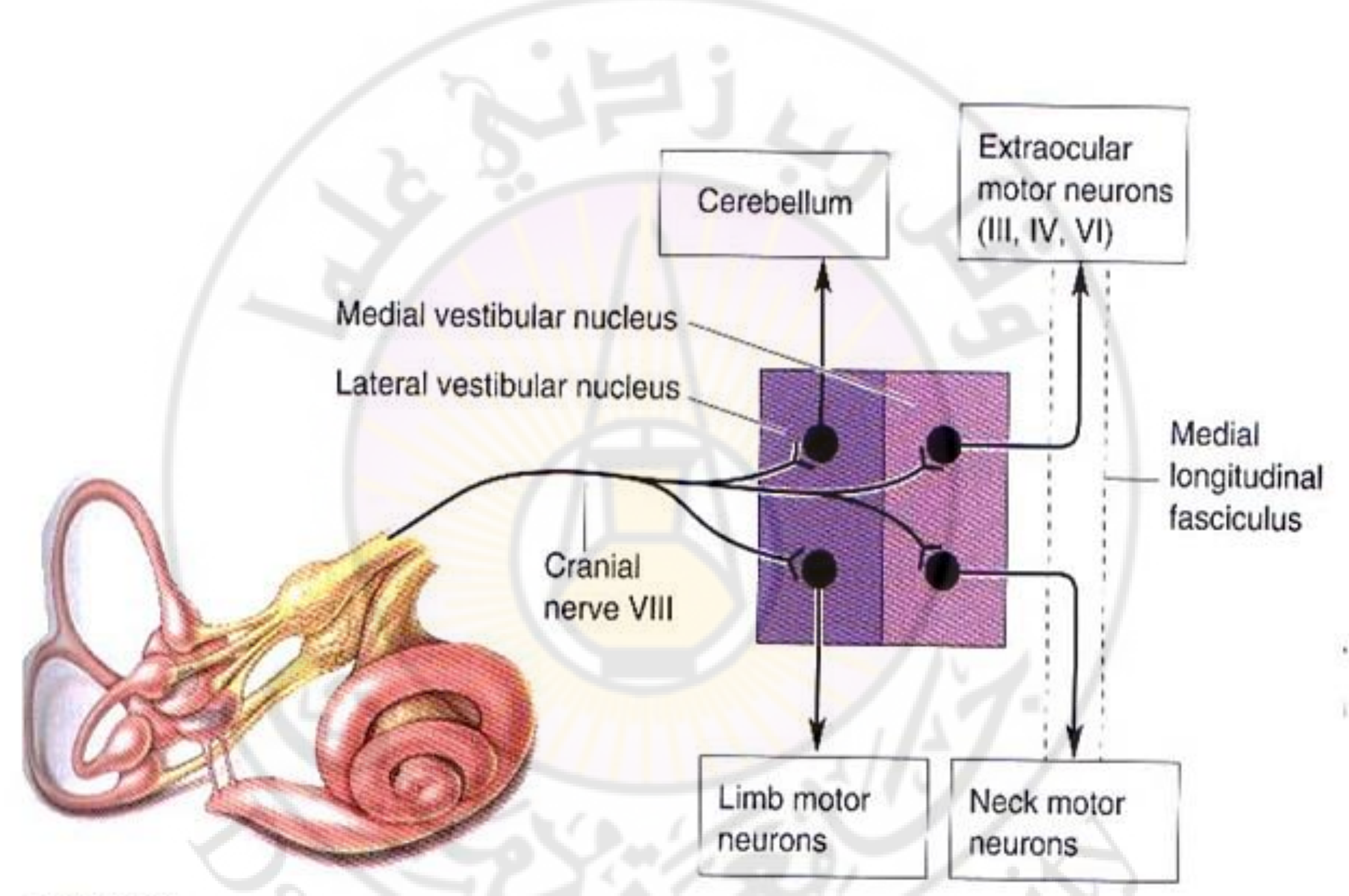
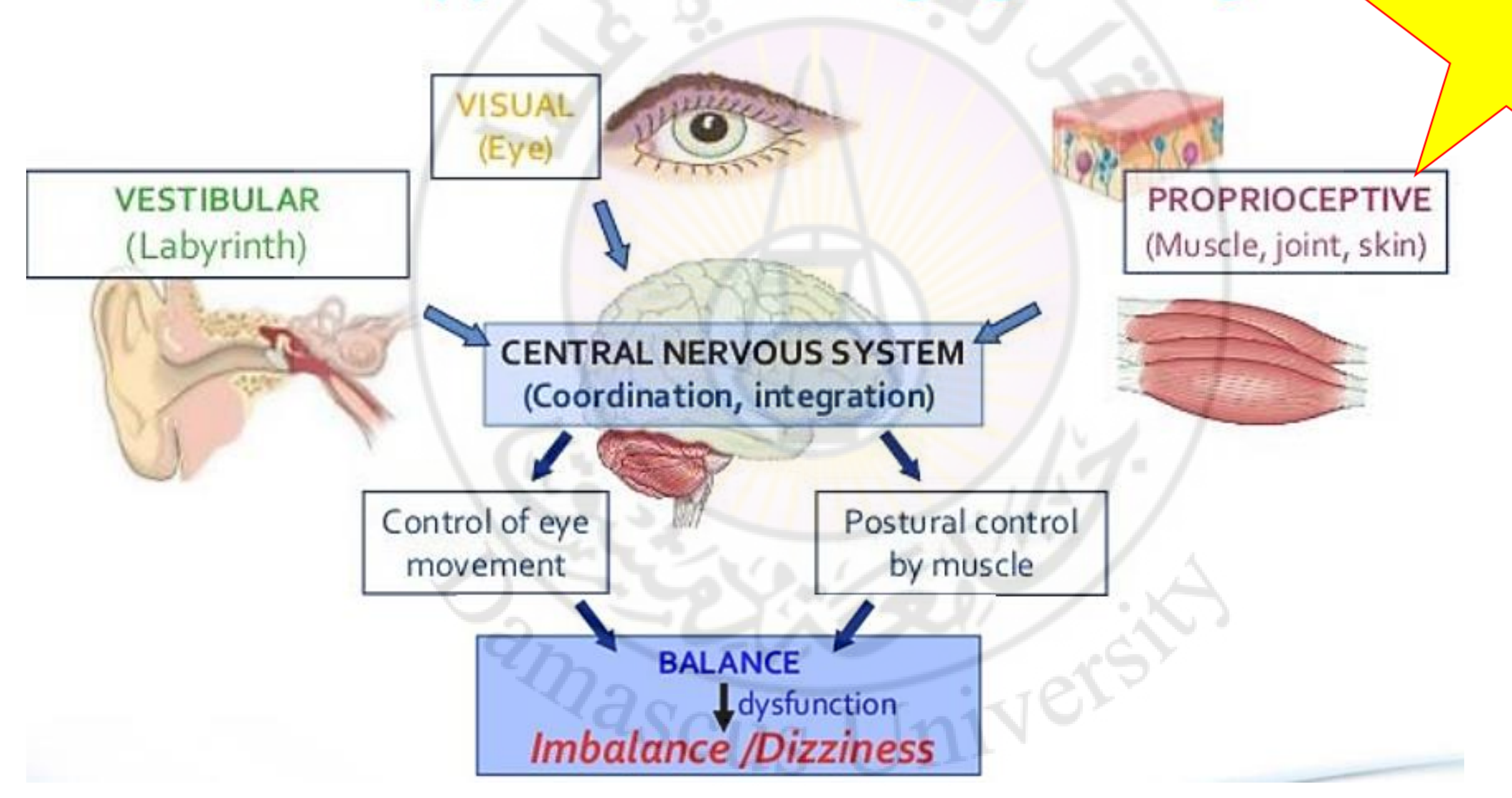


Figure 11.36
A summary of the central vestibular connections from one side.

What happens when things go wrong?



خلاصة

- التوازن هو حفظ وظيفة البدن في حالتي السكون والحركة.
- عملية التوازن لها جزأين أساسيين: جزء غريزي يولد مع الإنسان وجزء تعلمي يبدأ مع اول تواصل بين الإنسان والمحيط منذ الولادة ويستمر مدى الحياة.
- كلما ازدادت المنبهات وتعقيدات التعامل مع المحيط (ممارسة الرياضة – الرقص – الألعاب الدورانية وغيرها) كلما ازدادت كفاءة الجهاز الدهليزي.
- يتم تفسير هذه العلاقة بين تطور جهاز التوازن وبين المحيط من خلال معاكسة قوى الجاذبية وانتقال الجنين من وضعية الاستلقاء على الظهر إلى البطن فالحبو فالنهوض وتدريجيا المشي والركض وغيرها.
- لضمان السرعة والكفاءة في عملية التوازن يتم أداء وظيفة الجهاز الدهليزي من خلال منعكسات دهليزية عينية وشوكية ومخيخية ولايتدخل القشر المركزي إلا في بعض الوضعيات الحرجة والحركات المعقدة وبعض الحركات والتمارين التي تنفذ لأول مرة وبشكل إرادي لتتم عملية التعلم.
- فقدان وظيفة التوازن من أكثر الاضطرابات التي تهدد حياة واستمرار العضوية ففي بعض حيوانات التجربة تسبب تخريب أعضاء التوازن وعدم إتاحة الفرصة للمعاوضة إلى موت الحيوان بسبب عدم إمكانية استمرار الحياة بدون الاستقرار الوضعي الذي تؤمنه وظيفة التوازن.



أي سؤال ؟؟

نلتقي في السنة الثانية إن شاء الله